

**Untersuchungen zur Wirksamkeit von
High- und Low-Level-Lasertherapie bei
Patienten mit chronischen Schmerzen
im zervikokraniellen Bereich**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Laura Bocker
geboren am 05.03.1989 in Friedrichroda

Gutachter:

1. Prof. Dr. Ulrich C. Smolenski, Jena
2. PD Dr. Gabriele Lehmann, Jena
3. Prim. Univ. Prof. Dr. Tatjana Paternostro-Sluga, Wien/Österreich

Tag der öffentlichen Verteidigung: 11.12.2015

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
ZUSAMMENFASSUNG	VI
1 EINLEITUNG	1
2 GRUNDLAGEN	4
2.1 <i>Anatomische Grundlagen der Nackenregion</i>	4
2.2 <i>Funktionelle Zusammenhänge</i>	4
2.3 <i>Definition chronischer Schmerz</i>	6
2.4 <i>Pathologie der chronischen Nackenschmerzen/ des myofaszialen Schmerzsyndroms</i>	8
2.5 <i>Physikalische Grundlagen</i>	8
2.5.1 <i>Laser</i>	8
2.5.2 <i>High-Level-Laser (HLL)</i>	10
2.5.3 <i>Low-Level-Laser (LLL)</i>	12
3 WISSENSCHAFTLICHE FRAGESTELLUNGEN	14
3.1 <i>Welche Veränderungen bezüglich Schmerz, Beweglichkeit, Muskelspannung und Lebensqualität zeigen sich unter einer einwöchigen High-Level-Lasertherapie (HLLT)?</i>	14
3.2 <i>Welche Änderungen hinsichtlich der zuvor genannten Parameter zeigen sich bei den beiden unterschiedlichen Interventionsgruppen (LLL und HLLT) im Verlauf?</i>	15
3.3 <i>Bestehen Unterschiede zwischen den beiden Laserinterventionen in Hinsicht auf die untersuchten Parameter?</i>	15
3.4 <i>Welche Zusammenhänge bestehen zwischen klinischen Parametern, apparativen Messungen und den Outcomes hinsichtlich der Bewertung einer therapeutischen Wirksamkeit?</i>	16

4	PROBANDEN UND METHODIK	17
4.1	<i>Patienten</i>	17
4.2	<i>Studiendesign</i>	17
4.3	<i>Studienaufbau und -durchführung</i>	18
4.4	<i>Bewertungsparameter</i>	19
4.5	<i>Untersuchungsmittel und Messinstrumente</i>	20
4.5.1	<i>Klinische Untersuchung</i>	20
4.5.2	<i>Apparative Untersuchungen</i>	23
4.5.2.1	<i>Tissue Tensiometer (TTM)</i>	24
4.5.2.2	<i>Pressure Threshold Meter (PTM)</i>	25
4.5.3	<i>Assessments</i>	25
4.5.3.1	<i>Short-Form-12 Health Survey (SF-12)</i>	25
4.5.3.2	<i>Neck Disability Index (NDI)</i>	26
4.6	<i>Statistik</i>	27
5	ERGEBNISSE	29
5.1	<i>Gesamtpopulation (HLLT und LLLT)</i>	29
5.1.1	<i>Klinische Untersuchung</i>	29
5.1.1.1	<i>Allgemeine Statik</i>	29
5.1.1.2	<i>Bewegungsfunktionsstörungen der Wirbelsäule</i>	32
5.1.1.3	<i>Visuelle Analogskala (VAS)</i>	35
5.1.1.4	<i>Muskulatur</i>	37
5.1.2	<i>Apparative Untersuchung</i>	43
5.1.2.1	<i>Tissue Tensiometer (TTM)</i>	43
5.1.2.2	<i>Pressure Threshold Meter (PTM)</i>	44
5.1.3	<i>Assessments</i>	46
5.1.3.1	<i>Short-Form-12 Health Survey (SF-12)</i>	46
5.1.3.2	<i>Neck Disability Index (NDI)</i>	47
5.2	<i>Vergleich von Low- (LLL)- und High-Level-Laser (HLL)-Gruppe</i>	49
5.2.1	<i>Klinische Untersuchung</i>	49
5.2.1.1	<i>Allgemeine Statik</i>	49
5.2.1.2	<i>Bewegungsfunktionsstörungen der Wirbelsäule</i>	52

5.2.1.3	<i>Visuelle Analogskala (VAS)</i>	55
5.2.1.4	<i>Muskulatur</i>	57
5.2.2	<i>Apparative Untersuchung</i>	59
5.2.2.1	<i>Tissue Tensiometer (TTM)</i>	59
5.2.2.2	<i>Pressure Threshold Meter (PTM)</i>	60
5.2.3	<i>Assessments</i>	62
5.2.3.1	<i>Short-Form-12 Health Survey (SF-12)</i>	62
5.2.3.2	<i>Neck Disability Index (NDI)</i>	64
5.3	<i>Vergleich der beiden Interventionsgruppen (HLL und LLL)</i>	66
6	DISKUSSION	69
6.1	<i>Entwicklung des Untersuchungsbogens und klinische Untersuchungsbefunde</i>	69
6.2	<i>Veränderungen bezüglich Schmerz, Muskelspannung und Lebensqualität in der Gesamtgruppe</i>	76
6.3	<i>Änderungen in den beiden Interventionsgruppen (HLLT und LLLT)</i>	80
6.4	<i>Unterschiede zwischen den beiden Laserinterventionen</i>	89
6.5	<i>Bewertungen hinsichtlich der therapeutischen Wirksamkeit und Limitationen der Studie</i>	92
7	SCHLUSSFOLGERUNG	95
8	LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	96
9	ANHANG	105
	EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG	109
	DANKSAGUNG	110

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BFS	Bewegungsfunktionsstörung
BHS	Beckenhochstand
BWS	Brustwirbelsäule
CNP	Chronic Neck Pain
DIN/EN	Deutsches Institut für Normung / Europäische Norm
FBA	Finger-Boden-Abstand
HLL(T)	High-Level-Laser(therapie)
HIL(T)	High-Intensity-Laser(therapie)
HWS	Halswirbelsäule
Hz	Hertz
IQ	Interquartilbereich/ Interquartilsabstand
ISG	Iliosakralgelenk
KJA	Kinn-Jugulum-Abstand
KS	Körperlicher Summenscore des SF-12
LLL(T)	Low-Level-Laser(therapie)
LIL(T)	Low-Intensity-Laser(therapie)
LWS	Lendenwirbelsäule
M	Median
M./Mm.	Musculus/ Musculi
MPS	myofaszielles Schmerzsyndrom
MT	Manuelle Therapie
MW	Mittelwert
N./Nn.	Nervus/ Nervi
NDI	Neck Disability Index
ogS	oberes gekreuztes Syndrom
PS	Psychischer Summenscore des SF-12
RCT	randomized controlled trial
ROM	Range of Motion
S _D	Standardabweichung (standard deviation)
SHS	Schulterhochstand
SF-12	Fragebogen zur Einschätzung der Lebensqualität
T	Messzeitpunkt

ugS	unteres gekreuztes Syndrom
VAS	Visuelle Analogskala
W	Watt
WOMAC	The Western Ontario and McMaster Universities Arthritis Index

In der Arbeit wurde auf Kennzeichnung von geschützten Marken und Warenzeichen verzichtet. Die Benutzung von Markennamen geschieht unter Wahrung der Rechte der Urheber und Markeninhaber.

ZUSAMMENFASSUNG

Chronische Nackenschmerzen stellen in den Industrienationen aufgrund steigender Prävalenz ein häufiges Problem dar und führen dabei zu höheren Kosten für das Gesundheitssystem durch zunehmende Arbeitsausfälle und Arztkonsultationen. Bisher fehlen überzeugende Daten zur Objektivierung der zahlreichen Behandlungskonzepte für Patienten mit chronischen Schmerzen im zervikokraniellen Bereich. Eine mögliche Interventionsmaßnahme stellt die Thermotherapie mittels Laserapplikation dar.

In der hier vorliegenden randomisierten, kontrollierten und prospektiven Studie wurden zwei Lasertypen (Low-Level-Laser(therapie), LLL(T), und High-Level-Laser(therapie), HLL(T)) auf ihre Wirkung bei chronischen Nackenschmerzpatienten hinsichtlich der Schmerzintensität, Lebensqualität und Funktionalität der Halswirbelsäule analysiert und miteinander verglichen. Die Effektivität der Laserbehandlung, v.a. der therapeutische Wert des Low-Power-Lasers, wird dabei in der Literatur kontrovers diskutiert. Zur Anwendung von Hochleistungslasern (HLLT) bei chronischen Schmerzpatienten ist die Studienlage bisher sehr gering.

Aus der ambulanten Sprechstunde des Instituts für Physiotherapie der Universitätsklinik Jena wurden 41 Patienten (35 Frauen und 6 Männer; mittleres Alter: $43,7 \pm 14,6$ Jahre) mit chronischen Schmerzen in der kraniozervikalen Region rekrutiert und in eine interventionelle Therapiestudie aufgenommen. Nach einer einwöchigen Baseline-Phase erhielten die Studienteilnehmer randomisiert eine Monothermotherapie mit High- oder Softlaser in fünf Behandlungssitzungen, denen sich ein Follow-up eine Woche und vier Wochen nach Interventionsende anschloss. An fünf Messzeitpunkten wurden als Hauptparameter die generalisierte und die regionale Schmerzintensität, gemessen anhand der Visuellen Analogskala (VAS), ermittelt. Die Lebensqualität sowie nackenspezifische Gesundheitseinschränkungen wurden mit den standardisierten Assessments *Short-Form-12 Health Survey* (SF-12) und dem *Neck Disability Index* (NDI) erfasst. Als Nebenparameter dienten die Funktionsparameter der Halswirbelsäule, u.a. das Bewegungsausmaß (*Range of Motion* ROM) bei Rotation [°], die durch manualmedizinische Untersuchungen verifiziert wurden, sowie die apparative Messung der Gewebespannung im Nackenbereich mittels TTM (*Tissue Tensiometer*). Eine signifikante regionale Schmerzminderung im Nackenbereich (VAS) in der Gesamttherapiegruppe sowie in den beiden einzelnen Interventionsgruppen (LLL und HLL) konnte belegt werden.

Auch die nackenspezifische Gesundheit (NDI) zeigte mittels LLL- und HLL-Behandlung eine signifikante Verbesserung bis vier Wochen danach. Dabei ergaben sich für die beiden genannten Parameter keine signifikanten Gruppenunterschiede zwischen Low- und High-Level-Lasertherapie. Bei den Studienteilnehmern, die HLLT erhielten, konnten zudem eine signifikante Verlaufsreduktion der oberen gekreuzten Syndrome in der allgemeinen Statik, eine Erhöhung der HWS- Rotationsfähigkeit (ROM), eine Reduktion von HWS-Funktionsstörungen und Schmerzen bei der Lateralflexion des Kopfes, eine Verminderung hypertoner und schmerzhafter Muskelzustände des M. trapezius (nachgewiesen durch manualmedizinische Palpation und durch das *Tissue Tensiometer*) und des M. sternocleidomastoideus, eine Schmerzminderung der Nackenmuskulatur sowie die Verbesserung auf der subjektiv eingeschätzten körperlichen Gesundheitsskala (KS), gemessen anhand des SF-12, nachgewiesen werden. Die Rotationsbeweglichkeit der Halswirbelsäule (ROM) blieb bis vier Wochen nach Abschluss der Behandlung signifikant besser als das Ausgangsniveau, Gleiches gilt für die VAS sowie die Outcomes SF-12 KS (generisch) und NDI (nackenspezifisch).

In der mit LLL therapierten Patientengruppe ließ sich auf der psychischen Komponentenskala des SF-12 (PS) eine signifikante Verbesserung bei gleichzeitig fehlendem Nachweis einer objektivierten Abnahme der Gewebespannung mittels TTM erkennen. Bewegungsfunktionsstörungen und Schmerzen bei der Lateralflexion des Kopfes nach links sowie Schmerzen des M. trapezius und der Subokzipital-/Nackenmuskulatur konnten reduziert werden. Es zeigte sich kein Einfluss des LLL auf die Verminderung hypertoner Muskelzustände der zuvor genannten Muskeln. Darüber hinaus konnte auch für alle hier aufgezählten Parameter im direkten Gruppenvergleich keine Überlegenheit der HLLT gefunden werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mithilfe der High-Level-Lasertherapie, jedoch nicht mit der Low-Intensity-Laserbehandlung, die somatische Funktion verbessert werden kann. Die Effektivität der LLLT ist auf Basis der im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Daten anzuzweifeln und scheint vor allem auf einem psychischen Effekt zu beruhen.

1 EINLEITUNG

Chronische Nackenschmerzen (CNP) stellen in der Hausarztpraxis, beim Orthopäden oder Schmerztherapeuten ein häufiges diagnostisches, therapeutisches und wirtschaftliches Problem dar, sodass man bereits von einer Volkskrankheit sprechen kann. Etwa zwei Drittel aller Menschen erleiden Nackenschmerzen im Verlaufe ihres Lebens, wobei circa 10% chronifizieren (Cote et al. 1998, Binder 2008). Leider gibt es für Deutschland keine ausreichend gesicherte Datenlage, die verlässliche Zahlen liefert. Sicher scheint ein stetiger Anstieg der Prävalenz von CNP in Deutschland seit 1975 zu sein (Schumacher und Brahler 1999). Rückenschmerzen im Generellen stellen jedoch, laut einem Arztreport der Barmer GEK aus dem Jahre 2013, mit 24,9% die zweithäufigste Erkrankung der deutschen Bevölkerung hinter arteriellem Hypertonus dar (Barmer GEK Arztreport 2013). Chronische Nackenschmerzen führen dabei in einigen Industriezweigen zu ebenso vielen Arbeitsausfällen wie Rückenschmerzen im Allgemeinen (Kvarnstrom 1983). Die Prävalenz von Nackenschmerzen steigt mit zunehmender Länge des Beobachtungszeitraums und aufgrund zunehmender sitzender Tätigkeiten in Kombination mit geringerer Bewegungsausübung in Arbeit und Freizeit ist eine weitere Zunahme zu erwarten. Fejer et al. zeigten in einer Übersichtsarbeit zur Verbreitung von Nackenschmerzen in der Weltpopulation, dass die Krankheitshäufigkeit in den untersuchten Studien stark variiert mit einer mittleren Punktprävalenz von 7,6% (zwischen 5,9% und 38,7%) und einer mittleren Lebenszeitprävalenz von 48,5% (14,2–71,0%) (Fejer et al. 2006). Auch wird deutlich, dass Nackenschmerzen vermehrt im mittleren Lebensalter auftreten und Frauen im Gegensatz zu Männern wesentlich häufiger betroffen sind.

Anders als in Deutschland ist die Datenlage in den skandinavischen Ländern gut gesichert: Die „Mini-Finland Health Survey“, die eine Repräsentativ-Population von 8000 Finnen älter als 30 Jahre untersuchte, stellte fest, dass bei 9,5% der Männer und 13,5% der Frauen ein chronisches Nackenschmerzsyndrom diagnostiziert worden war; dieses sei vor allem assoziiert mit vorangegangenen Unfällen/Verletzungen des Rückens, des Nackens und der Schultern sowie mit mentalem und physischem Stress auf Arbeit. Außerdem konnten Übergewicht und Parität als Risikofaktoren ermittelt werden (Makela et al. 1991). Häufige, repetitive Kontraktionen der Schulter- und Nackenmuskulatur, eine statische Anspannung und

die Verrichtung der Arbeit auf Schulter-Niveau sind zusätzliche gefährliche Expositionsfaktoren (Hagberg und Wegman 1987). So sind bestimmte Berufsgruppen, z.B. Zahnärzte, Fleischwarenbeförderer, Bergarbeiter und andere Schwerstberufe sowie Tastaturanwender, häufiger assoziiert mit funktionellen und strukturellen Schulter-/Nackenbeschwerden als andere.

Die Therapie unspezifischer Nackenschmerzen ist, insofern keine relevanten neurologischen Defizite auftreten, in aller Regel konservativ. Eine Übersichtsarbeit zur Behandlung von Nackenschmerzen beschreibt das Spektrum an Möglichkeiten, zu denen die medikamentöse Therapie (Analgetika, NSARs, Antidepressiva und Muskelrelaxantien), Manipulation und Mobilisation der Nackenregion sowie frühe Rückkehr zu normaler Aktivität, Kälte- und Wärmeanwendungen, Biofeedback, posturale Techniken (Yoga, Pilates, Alexandertechnik) und TENS (transkutane elektrische Nervenstimulation) zählen (Aker et al. 1996). Die große Vielfalt an Therapiemöglichkeiten zeigt bereits, dass es weitgehend an wissenschaftlichen Nachweisen für die Effektivität dieser Methoden mangelt bzw. verschiedene Autoren sie unterschiedlich bewerten (Aker et al. 1996, Panel 2001, Anderson et al. 2010, Binder 2008). Dies trifft z.B. auf die medikamentöse Behandlung zu. Obwohl das die am häufigsten angewendete Behandlung ist, gibt es keine überzeugenden Daten, die eine hinreichende Sicherheit für ihren Erfolg liefern. Das Philadelphia-Komitee weist darauf hin, dass gut strukturierte RCTs notwendig seien, um die zahlreichen Interventionsmöglichkeiten für Patienten mit akuten und chronischen Nackenschmerzen zu objektivieren und eine suffiziente Evidenz für deren Anwendung zu schaffen (Panel 2001).

Eine Möglichkeit, chronische Nackenschmerzen zu behandeln, bietet die Lasertherapie, die in die Gruppe der Wärmeanwendungen fällt. Die Effektivität der Laserbehandlung wird dabei in der Literatur kontrovers diskutiert. Insbesondere der therapeutische Wert des Low-Power-Lasers (Low-Level-Laser, Soft-Laser) wird unterschiedlich, meist kritisch betrachtet, da die Wirksamkeit wissenschaftlich überwiegend nicht nachgewiesen ist. Eine aus dem Jahr 2009 stammende systematische Übersichtsarbeit eines australischen Forschungsteams zur Anwendung des Low-Level-Lasers bei Nackenschmerzen kommt zum Schluss, dass kurz- und mittelfristig eine schmerzlindernde Wirkung existiere (Chow et al. 2009). Eine weitere Gruppe australischer Wissenschaftler um Andrew Leaver wies ein Jahr später auf eine unklare Datenlage bezüglich der Effektivität der LLLT, verglichen mit

einer Kontrollgruppe, hin (Leaver et al. 2010). Die aktuellste Metaanalyse zu diesem Thema, die 17 Studien seit Februar 2012 untersucht, fasst sich in ihrer Wortwahl wieder zurückhaltender, indem sie von kontroversen Ergebnissen berichtet und lediglich von einer möglichen, aber nicht vollständig erwiesenen vorteilhaften Wirksamkeit der LLLT bei chronischen Nackenschmerzen ausgeht (Gross et al. 2013).

Die zur High-Power-Lasertherapie vorliegenden Studienergebnisse schätzen diese allesamt als erfolgreiche Alternative zur medikamentösen Behandlung besonders bei schmerzhaften Erkrankungen des Bewegungssystems in der physikalischen Medizin ein. Allerdings ist auch diese Aussage unter Vorbehalt zu betrachten, da lediglich drei mit dem hier vorliegenden Design vergleichbare Studien zur HLLT veröffentlicht worden sind und somit ausführliche Literaturangaben und Metaanalysen zur besseren Einschätzbarkeit fehlen.

Die im Institut für Physiotherapie des Uniklinikums Jena durchgeführte randomisierte, kontrollierte Studie soll dabei helfen, Klarheit zu schaffen über die Anwendung der Lasertherapie bei CNP-Patienten. Dabei soll in erster Linie Gewissheit über den therapeutischen Wert der LLLT gewonnen werden, aber auch eine Aussage zu den Ergebnissen von Chow et al. aus dem Jahre 2009 bzw. von Gross et al. (2013) hinsichtlich der möglichen Bestätigung ihrer Resultate erzielt werden.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Anatomische Grundlagen der Nackenregion

Gemäß den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin (DEGAM) entspricht die Nackenregion (Regio cervicalis posterior) der Ausdehnung des Pars descendens des M. trapezius (DEGAM 2009). Kranial wird dieser Bereich somit von der Linea nuchalis superior des Os occipitale und lateral von den schultergelenksnahen Ansätzen des M. trapezius begrenzt. Die Regio nuchae endet kaudal im Bereich des ersten Brustwirbelkörpers Th1. Charakteristisch für die Nackenregion sind die rechts und links der HWS verlaufenden Nackenmuskeln, die von der Fascia nuchae umhüllt und durch das in der Medianebene verlaufende kräftige Lig. nuchae voneinander getrennt werden. Zu der autochthonen Nackenmuskulatur, die dem kranialen Abschnitt des M. erector spinae entspricht, zählen der M. semispinalis capitis, M. semispinalis cervicis, M. splenius capitis, M. splenius cervicis, M. longissimus capitis, M. iliocostalis cervicis und die Mm. suboccipitales.

Wichtige nervale und vaskuläre Strukturen in der Regio cervicalis posterior sind u.a. der N. occipitalis major (C2), der sensible Teile der behaarten Kopfhaut in der Regio occipitalis und die Meningen der hinteren Schädelgrube sowie motorisch den M. semispinalis, den M. longissimus und den M. splenius innerviert, der Ramus ascendens der Arteria transversa colli, der u.a. den M. trapezius versorgt, sowie der sensible Ramus posterior des N. auricularis magnus, der dorsale Anteile der Ohrmuschel sowie die Kopfhaut hinter dem Ohr, über dem Processus mastoideus, der Parotis und dem M. masseter versorgt.

2.2 Funktionelle Zusammenhänge

Der Regio nuchae und der darin eingeschlossenen oberen Halswirbelsäule kommt aufgrund des komplexen Systems aus enormer Beweglichkeit der Kopfgelenke und der propriozeptiven Funktion der Nackenmuskulatur in Bezug auf die Kopf-zu-Körper-Stellung eine besondere Bedeutung zu. Dabei soll höchste Beweglichkeit der HWS in alle Richtungen bei gleichzeitig maximalen Stabilitätsanforderungen gewährleistet werden. Neuhuber weist in einer von ihm veröffentlichten Studie sehr nachdrücklich auf das diffizile Zusammenwirken von Krania, Mandibula und Hals- und

Brustwirbelsäule hin. Mit Blick auf die Anatomie dieses Bereiches ist dies auch nicht weiter verwunderlich. Die Nackenmuskulatur muss im Kontext mit prävertebraler, supra- (M. digastricus, M. geniohyoideus, M. mylohyoideus und M. stylohyoideus) und infrahyoidaler (M. sternohyoideus, M. sternothyroideus, M. thyrohyoideus und M. omohyoideus) Muskulatur sowie Kau- und Zungenmuskulatur gesehen werden. Soll der Mund beispielsweise bei ruhiger Kopfhaltung geöffnet oder geschlossen werden, so ist eine kompensatorische Anspannung der Nackenmuskeln notwendig, Andersherum erfordert z.B. die Reklination des Kopfes eine Aktivierung der Kaumuskeln, damit der Mund geschlossen gehalten werden kann. Die Nackenmuskulatur wird als Sensor in diesem komplizierten System der Kopf-zu-Rumpf-Stellung gesehen, wodurch ihr eine entscheidende Rolle zuteil wird. Vielfältige neuroanatomische, funktionelle und klinische Befunde bestätigen die Auffassung, dass Störungen an einem der Schnittpunkte dieses Netzwerks (Kiefergelenksfehlstellungen, Bewegungsfunktionsstörungen der HWS, BWS und LWS, muskuläre Dysbalancen und daraus resultierende Fehlhaltungen) Ursachen für die meist schmerzhafteste Symptomatik im kraniozervikalen Übergang darstellen (Neuhuber 2007). Dadurch wird erklärbar, dass Nackenschmerzen mit kranio-mandibulären Dysfunktionen, ja sogar Fehlhaltungen der unteren LWS oder des Beckens in Relation stehen. Weitere Studien von Neuhuber zeigen, dass neben den Zusammenhängen von Funktion der HWS und kranio-mandibulärem System zusätzlich eine kinematische Verkettung der Kiefer- und Kopfgelenkregion mit der gesamten Wirbelsäule vorhanden ist, die sich über die Iliosakralgelenke und das Becken bis in die unteren Extremitäten fortsetzt. Dabei könnte der M. longissimus mit seinem Verlauf von Ilium und Sakrum bis zum Processus mastoideus als Vermittler von funktionellen Störungen zwischen den Kopfgelenken und dem Becken auftreten (Neuhuber 2005).

Zur weiteren Betrachtung des Zusammenspiels der Muskeln im oberen HWS-Bereich sind der M. trapezius und M. sternocleidomastoideus nicht zu vergessen, die für eine Kopplung des kraniozervikalen Übergangs mit Schultergürtel und Thorax verantwortlich sind. Über bestimmte Muster von muskulären Dysbalancen, die eine Auswirkung auf diese beschriebenen komplexen Zusammenhänge haben, geben u.a. das obere und das untere gekreuzte Syndrom nach Janda Aufschluss. Beim oberen gekreuzten Syndrom finden sich ein verspannter und verkürzter M. pectoralis major et minor auf der Vorderseite sowie auf der Rückseite die ebenfalls zur

Verkürzung neigenden M. trapezius descendens, M. levator scapulae und M. sternocleidomastoideus. Zusätzlich zeigt sich eine Schwächung des unteren und mittleren Anteils des M. trapezius, des M. serratus anterior und des M. rhomboideus. Es entsteht das typische Bild der Kopfvorhalte, einer Schulterprotraktion, kombiniert mit einer Hyperkyphose der Brustwirbelsäule. Ergebnisse dieser Veränderungen sind eine erhöhte Belastung der zervikalen Region sowie von dort ausstrahlende Schmerzen in Arm, Schulter und Brust. Das untere gekreuzte Syndrom lässt sich durch abgeschwächte Mm. abdominis und M. gluteus maximus sowie die verkürzten M. iliopsoas, M. rectus femoris, M. tensor fasciae latae und M. erector spinae charakterisieren. Als Folge dieser muskulären Dysbalancen kippt das Becken nach vorn, es entstehen eine lumbale Hyperlordose und eine erhöhte Belastung für den lumbosakralen Übergangsbereich, die mit Schmerzen vergesellschaftet sein können. Für beide Dysbalance-Syndrome liegt Janda zufolge die Lösung darin, verkürzte bzw. verspannte Muskelgruppen zu erkennen, zu entspannen (zu dehnen) und anschließend eine Aktivierung der abgeschwächten Muskeln zu erlernen (Janda 2000).

Da viele Nackenschmerzpatienten gleichzeitig Kopfschmerzpatienten sind, sollten auch hier mögliche Zusammenhänge nicht außer Acht gelassen werden. Diskutiert wird ein vertebrales Kopfschmerz (oberes Zervikalsyndrom) wie auch ein zervikogener Kopfschmerz, der durch die Funktionsstörung der Kopfgelenke, also die Verbindung Okziput zu Atlas (C1) und Atlas zu Axis (C2) sowie funktionell dazugehörig C2 zu C3, ausgelöst wird (Tilscher 2007). Nach Gutmann wird zwischen dem Blockierungskopfschmerz, einem Hypermobilitätskopfschmerz und muskulogenem Kopfschmerz, der besonders bei Schulkindern auftritt, unterschieden (Gutmann 1988).

2.3 Definition chronischer Schmerz

Unter Schmerz versteht man laut Mutschler et al. ein „unangenehmes Sinnes- und Gefühlserlebnis“, dessen Einschätzung subjektiv ist. Gekennzeichnet ist der Schmerz durch die Nozizeption, d.h. die Aufnahme noxischer bzw. potenziell schädlicher Reize, deren Weiterleitung in Form von Aktionspotentialen im nozizeptiven System sowie deren zentraler Verarbeitung im thalamokortikalen System (Mutschler et al. 2007).

Der Schmerz setzt sich aus verschiedensten Komponenten zusammen. So unterscheidet man eine sensorisch-diskriminative (Erfassung des Reizes und Analyse nach Ort, Intensität, Dauer und Art) von einer affektiven und somit Leidenskomponente. Der vegetative Schmerzbestandteil beschreibt eine mögliche Beteiligung z.B. des Kreislaufsystems oder des Magen-Darm-Trakts und der motorische Anteil die Einnahme von Schonhaltungen und Abwehrbewegungen. Zu guter Letzt gibt es eine kognitive Komponente, die sich durch eine Bewertung des Schmerzes anhand früherer Erfahrungen sowie erzieherischer und sozialer Faktoren auszeichnet.

Schmerzen können je nach Charakteristika unterschiedlich klassifiziert werden. Eine Rolle spielt zum einen die Einteilung nach der Art der Schmerzentstehung, bei der man physiologischen (Einwirken einer Noxe auf gesundes Gewebe) und pathophysiologischen Nozizeptorschmerz (vorliegende Organveränderung, z.B. Entzündung) von neuropathischem Schmerz (Schädigung der Nervenfaser selbst) unterscheidet. Eine zweite Klassifikation wird nach dem Entstehungsort des Schmerzes vorgenommen. Eingeteilt wird hierbei in somatischen Oberflächen- (Haut) bzw. Tiefenschmerz (Gelenke, Muskeln) sowie viszerale Schmerzen. Eine dritte Einordnung erfolgt nach Dauer des Schmerzzustandes in akute und chronische Schmerzen. Während der akute Schmerz nach Beseitigung des gewebeschädigenden Reizes schnell abklingt und somit eine eindeutige Warnfunktion besitzt, halten chronische Schmerzzustände üblicherweise länger als drei bis sechs Monate an bzw. kehren ständig wieder. Bei chronischen Schmerzzuständen kann die Korrelation zwischen subjektiver Schmerzempfindung und Nozizeption teils außer Kraft gesetzt sein. Es treten Schmerzen auf, obwohl keine nozizeptiven Vorgänge erkennbar sind. Der Schmerz verliert somit seine Funktion als Warnsignal und erhält mehr und mehr eine psychologische Bedeutung. Laut Mutschler et al. wird angenommen, dass kortikale Lernprozesse, wie die klassische und operante Konditionierung, eine erhebliche Rolle spielen. Chronische Schmerzen sind dementsprechend eine individuell variable Erfahrung, die physikalische, psychologische und soziale Komponenten umfasst. Dabei kommt der chronische Schmerz in verschiedenen Schwierigkeitsgraden vor, sodass eine Stadieneinteilung von wesentlicher Bedeutung für die klinische Forschung wie auch für epidemiologische Studien ist (Pfingsten 2000). Seit Ende der 1990er Jahre findet genau in diesem Sinne der besseren Beurteilbarkeit die heutige Fassung des

Mainzer Schmerzstadienkonzepts, das um Professor Gerbershagen am DRK-Schmerzzentrum Mainz seit 1986 entwickelt wurde, breite Anwendung. Neben vier medizinisch orientierten Dimensionen spielt die psychosoziale Komponente nach dieser Einteilung eine ebenso wichtige Rolle (Gerbershagen et al. 1986).

2.4 Pathologie der chronischen Nackenschmerzen/ des myofaszialen Schmerzsyndroms

Das myofasziale Schmerzsyndrom (MPS) ist ein durch Schmerzen im Bewegungssystem gekennzeichnetes Krankheitsbild. Häufig ist das Vorkommen regionaler druckempfindlicher Punkte, sogenannter myofaszieller Triggerpunkte. Diese stellen harte gespannte Muskelbündel (Muskelhartspann) dar, die durch anhaltende Kontraktion einzelner Sarkomere verursacht werden. Charakteristisch ist der sogenannte „referred pain“, d.h. ein Schmerz, der an anderer Stelle entsteht, als er perzeptiert wird. Weiterhin bestehen lokale Myoklonien sowie eine eingeschränkte Beweglichkeit und Muskelschwäche in diesem Bereich. Im Gegensatz zum Fibromyalgiesyndrom treten Schmerzen lokal begrenzt auf. Ursachen können posttraumatische Schädigungen, Fehlhaltungen der Wirbelsäule, hohe muskuläre Belastung, degenerative oder entzündliche Erkrankungen sowie psychische Überlastung sein. Vom myofasziellen Schmerzsyndrom betroffen sind häufig Kau- und Nackenmuskulatur sowie die Halsfaszien und Gelenkkapseln der kleinen Wirbelgelenke. Man geht davon aus, dass Nackenschmerzen meistens durch degenerative Wirbelsäulenveränderungen bedingt werden (Isaac und Anderson 2010).

2.5 Physikalische Grundlagen

2.5.1 Laser

Der Begriff Laser steht als Akronym für „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“. Das Grundprinzip des Lasers ist eine Verstärkung elektromagnetischer Wellen durch stimulierte Strahlungsemission. Voraussetzung dafür ist ein aktives Medium, das verschiedene Energieniveaus besitzt. Dies können eine Halbleiter-Diode, ein Festkörper, z.B. ein Rubin oder Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Kristall (Nd:YAG-Laser), ein bestimmtes Gas wie Argon, CO₂ oder einige andere Edelgas-Gemische sein. Zur Anregung dieser Medien wird eine

Energiequelle benötigt, z.B. elektrischer Strom. Die Atome oder Moleküle des Mediums werden in angeregte Energiezustände versetzt, und im Augenblick des Zurückspringens in die alte Umlaufbahn wird Energie frei, die in Form von Licht abgestrahlt wird. Dieses kann dann zielgerichtet als Laserstrahl auf die gewünschte Stelle appliziert werden.

Die für den Laser eingesetzten elektromagnetischen Wellen befinden sich in einem Wellenlängenspektrum zwischen 780 und 1064nm und zählen damit zum Infrarotbereich. Laserlicht zeichnet sich durch eine sogenannte örtliche und zeitliche Kohärenz aus, somit ist es monochromatisch, kohärent und kollimiert, d.h., Lichtphotonen bewegen sich absolut parallel. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Laserklassen.

LASERKLASSIFIZIERUNG	
Klasse	Beschreibung
1	ungefährliche Laserstrahlung/ Laser in geschlossenem Gehäuse
1M	ungefährlich, solange keine optischen Instrumente (Lupen, Ferngläser) verwendet werden
2	Laserstrahlung liegt nur im sichtbaren Spektralbereich (400nm bis 700nm), bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer (bis 0,25s) auch für das Auge ungefährlich
2M	siehe Klasse 2, solange keine optischen Instrumente verwendet werden
3R	gefährlich für das Auge
3B	gefährlich für das Auge und in besonderen Fällen auch für die Haut, diffuses Streulicht i.d.R. ungefährlich
4	sehr gefährlich für Auge und Haut, auch diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein; Brand- und Explosionsgefahr

Tab. 1: Laserklassifizierung nach DIN EN 60825-1

Zur Behandlungsvorbereitung zählt die Patientenaufklärung. Die Haut sollte gereinigt werden und mögliche künstliche Störfelder sind zu vermeiden. Bei der Behandlung empfiehlt sich die Handhabung des Lasers auf die Weise, dass der Strahlengang senkrecht zu der zu behandelnden Fläche verläuft. Um eine optimale Transmissionstiefe für tiefe Gewebe, z.B. Muskeln, zu erzielen, sollte mit dem Laserkopf ein geringer bis mäßig starker Druck auf die Haut ausgeübt werden, wodurch es zur Verschmälerung der Subkutis sowie zur Verminderung des Blutgehalts der Gefäße kommt. Dies ist notwendig, da Fettgewebe und Hämoglobin die Energiedichte der Laserstrahlen verringern.

Das Verfahren der Lasertherapie selbst ist risikoarm und wird sicherheitshalber vor der Applikation auf die jeweilige Person bezogen getestet. Die meisten Nebenwirkungen sind gering bzw. flüchtig für Minuten bis Stunden. Sie werden durch

eine individuelle Überempfindlichkeit oder durch Überdosierung der Lasertherapie verursacht. Dabei können Patienten in den ersten Therapiesitzungen mit einer leichten Schmerzverstärkung, einer Rötung und gegebenenfalls einer verminderten Gewebespannung rechnen. Als Ursachen hierfür nimmt man u.a. die verbesserte Mikrozirkulation und die lokale Stoffwechselsteigerung an.

Der Laserstrahl sollte nicht auf den Bereich der Schilddrüse, anderer endokriner Drüsen sowie auf die Augen und den periorbitalen Bereich gerichtet werden. Laut Anwender darf bei Personen, die unter Epilepsie leiden, Laserlicht nicht direkt auf den Kopf gestrahlt werden, da die Gefahr besteht, dadurch einen epileptischen Anfall auszulösen. Trägern von Herzschrittmachern ist die Anwendung von Lasertherapie aufgrund der möglichen Schädigung des Schrittmachers nicht gestattet.

Die Unterscheidung von High Power Laser (High Level Laser, Hard-Laser) und Low Power Laser (Low-Level-Laser, Soft-Laser) liegt in der speziellen Ausgangsleistung. Hard-Laser weisen einen Intensitätsbereich von ca. 1-10 Watt auf. Die Leistung des Soft-Lasers liegt zwischen etwa 5-500 Milliwatt.

2.5.2 High-Level-Laser (HLL)



Abb. 1: zu Studienzwecken verwendeter High-Power-Laser
(<http://www.zimmer-opton.de/optonpro/ueberblick.html>)

Zur Durchführung der High-Power-Lasertherapie kam der medizinische Laser *OptonPro* der Firma *Zimmer MedizinSysteme* zum Gebrauch (Abbildung 1). Beim verwendeten Halbleiter handelt es sich um insgesamt vier Gallium-Arsenid-Dioden im

Parallelbetrieb. Der Laser wurde mit einer Leistung von 7W kontinuierlich bei einer Gesamtenergie von insgesamt 3000J appliziert. Eine Behandlungssitzung nahm in etwa fünf Minuten in Anspruch. Ein aufsteckbarer Abstandshalter diente in definierter Entfernung zur Haut der gleichmäßigen Abgabe des Laserlichts. Somit wurde ein Hautareal von etwa 3,1cm² behandelt. Der Laser ist der Klasse 4 nach DIN EN 60825-1 (siehe Tabelle 1) zuzuordnen. Zahlreiche Sicherheitsvorkehrungen (Raumzutritt während der Behandlung nicht gestattet, Tragen von Laserschutzbrillen, Sicherheitspasswort und -fußschalter, Notausschalter) wurden demgemäß beachtet. Als weitere Maßnahme wurde zu Beginn der ersten Therapiesitzung ein Wärmeschwellentest durchgeführt, der zur Abschätzung der zu erwartenden Wärmeentwicklung im Gewebe dient und als Sicherheitstest vom Hersteller *Zimmer MedizinSysteme* vorgeschrieben ist.

Indikationen zur Benutzung dieses Lasers sind muskuloskelettale Erkrankungen, Tendopathien, myofasziale Schmerzsyndrome, schmerzhafte Triggerpunkte, Neuralgien sowie Hauterkrankungen. Der HLL verfügt gleichzeitig über zwei verschiedene Wellenlängenbereiche im Infrarotbereich, die zur selben Zeit innerhalb einer Therapiesitzung appliziert werden. Der 980-nm-Anteil wird bereits oberflächennah absorbiert, besitzt folglich eine geringe Eindringtiefe und wirkt auf diesem Wege an oberflächlichen Schmerzrezeptoren und über reflektorische Wege analgesierend. Der Anteil des Laserlichts, der bei 810nm liegt, wird weniger stark vom Körpergewebe (Wasser, Blut sowie Melanin) absorbiert und gelangt dementsprechend deutlich tiefer ins Gewebe. Abhängig von der Leistung kann diese Reichweite bis zu 6cm betragen. Die biologischen Wirkungen des Laserlichts zeigen sich zum einen in einer Steigerung der Aktivität des Energiestoffwechsels vor allem durch Anregung von Molekülen (Flavoproteine, Cytochrome) der Atmungskette. Dieser Vorgang wird als Biostimulation bezeichnet und äußert sich vorwiegend in einer beschleunigten Geweberegeneration, bei der ebenfalls eine Aktivierung von Fibroblasten durch Laserlicht eine Rolle spielt. Zum anderen werden thermische Effekte beschrieben, die von der Wärmeleitfähigkeit und dem Temperaturleitwert des jeweiligen Gewebes abhängig sind. Temperaturen bis ca. 43°C werden in der physikalischen Medizin zur therapeutischen Wärmewirkung angestrebt (Zimmer 2012). Ein weiterer wichtiger Effekt der Laserbehandlung liegt in der analgetischen Wirkung: Schwache thermische Reize auf die Nozizeptoren führen zu einer segmentalen Schmerzhemmung über tonisch aktive hemmende Interneurone, die die

Übertragung nozizeptiver Impulse verringern. Starke thermische Reize hemmen das nozizeptive System durch Freisetzung von endogenen Opiaten (z.B. Beta-Endorphin), die als Liganden am Opiatrezeptor zu einer Analgesie führen können. Beide Mechanismen eignen sich zur Therapie von myofaszialen Schmerzen. Wärmetherapie führt, empirisch bewiesen, ebenfalls zu einer Senkung des Muskeltonus und somit zu einer muskulären Entspannung (Senn 1995).

2.5.3 Low-Level-Laser (LLL)

Low-Level-Laser sind Laser, die, im Gegensatz zu medizinischen Power-Lasern, mit geringer Energie arbeiten. Sie werden als biostimulierend bezeichnet und sollen je nach Wellenlänge in den einzelnen Zellen Wachstums-, Stoffwechsel- und immunologische Prozesse fördern. Sie werden ausschließlich zu Heilzwecken eingesetzt und deshalb synonym auch als Biostimulations-, Soft- oder Heillaser bezeichnet. Low-Level-Laser werden zur Wundheilung (Lucas et al. 2000, Simon 2004), bei venösen Beinulzera (Flemming und Cullum 2000), zur allgemeinen Geweberegeneration, Entzündungshemmung, Schmerzlinderung sowie zur Therapie von Akupunktur- und Trigger-, Tender- und Reflexpunkten angewendet. Füchtenbusch und Bringmann beschreiben vielfältige Auswirkungen der Laser-Therapie. Dazu gehören die Förderung der Beta-Endorphin-Ausschüttung, die Steigerung der ATP-Produktion und damit der Zellenergie und die Erhöhung des messbaren Potentials an Nervenzellmembranen. Zur Analgesie tragen außerdem eine Entspannung der Muskulatur durch eine erhöhte Druckschmerz-Nervenreizschwelle bei sowie die Reduzierung von Schmerzmediatoren und Trigger- bzw. Tenderpunktaktivität (Füchtenbusch und Bringmann 2010).

Die biophysikalischen Charakteristika zielen bei einem guten Lasertherapiegerät auf die größtmögliche Wirksamkeit ab. Dabei werden eine effektive Transmissionstiefe und eine biologische Photobiostimulation im Gewebe durch infrarote Laserstrahlen im Wellenlängenbereich zwischen 780 und 800nm erreicht. Zu einer hohen Photonenabsorption und einer geringen Streuung tragen ein Diodenlaser sowie das infrarote Spektrum bei. Die weitere Anpassung der Effektivität kann durch die Strahlungstechnik erfolgen, also durch das Aussenden kontinuierlicher Strahlen für die exakte Strahlungsdosierung oder frequenzmoduliert für eine kompliziertere Strahlendosierung.

Der zu unseren Zwecken verwendete Low-Intensity-Laser *LA-X 30A* stammt von der Firma *MKW Lasersystem* und eignet sich als sogenannter Laserpen zur zielgerichteten punktuellen Applikation der Laserstrahlen, weshalb er zur von uns gewünschten Therapie von Triggerpunkten ausgewählt wurde (Abbildung 2). Der Wellenlängenbereich dieses Modells liegt bei 785nm, womit ein Triggerpunkt maximal eine Minute bei einer Leistung von 60mW behandelt wurde, was 3,6 Joule pro Punkt Gesamtenergie ergibt. Maximal sechs Punkte, die behandelt werden sollten, wurden nach Schmerzintensität festgelegt. Nach Angaben der Firma kann mit Hilfe des Laserpens eine Fläche von 1 cm² punktuell bestrahlt werden bei einer reduktiven, d.h. durch z.B. Knochen oder Metall abgebremsten Strahlung, Tiefenwirksamkeit von 2-3cm und einer deduktiven Reichweite von 5-6cm. Behandelt wurde in beiden Interventionsgruppen mit einer Frequenz von fünf Tagen pro Woche.



Abb. 2: zu Studienzwecken verwendeter Low-Power-Laser
(<http://www.mkw-laser.de/laserpen-la-x30a.html>)

3 WISSENSCHAFTLICHE FRAGESTELLUNGEN

Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich des High-Power-Lasers *OptonPro* der Firma *Zimmer* mit dem Low-Level-Laser *LA-X 30A* von *MKW Lasersystem* bei Patienten mit chronischen Schmerzen im zervikokraniellen Bereich bis einschließlich Brustwirbelkörper Th4. Im Mittelpunkt steht dabei die Untersuchung der Wirksamkeit beider Lasertypen. Zahlreiche Studien wurden in den letzten Jahren durchgeführt, die belegen, dass Lasertherapie wirksamer ist als Placebo (Özdemir et al. 2001, Bjordal et al. 2006, Hegedús et al. 2009, de Moraes Maia et al. 2012) oder als Ultraschallbehandlungen (Santamato et al. 2009, Fiore et al. 2011). Sinn unserer Studie ist folglich herauszufinden, welche Laserintensität, d.h. LLLT im Milliwatt- (60mW) oder HLLT im Wattbereich (7W), die sinnvollere ist. Darüber hinaus galt es zu evaluieren, ob Laserbehandlungen bei chronischen Schmerzpatienten überhaupt sinnvoll sind. Hierfür ergeben sich die folgenden Fragestellungen:

3.1 Welche Veränderungen bezüglich Schmerz, Beweglichkeit, Muskelspannung und Lebensqualität zeigen sich unter einer einwöchigen High-Level-Lasertherapie (HLLT)?

Bei dieser Fragestellung erfolgt die statistische Auswertung des Vergleichs zwischen den Messzeitpunkten T0 bis T4 bezüglich der Veränderung der Schmerzsymptomatik im Nackenbereich sowie global betrachtet anhand der Visuellen Analogskala, der Beweglichkeit in den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten und des Muskeltonus in den untersuchten Muskelgruppen für alle in die Studie aufgenommenen und zum jeweiligen Lasertyp randomisierten Patienten. Die Einschätzung der beiden zuletzt aufgezählten Parameter geschieht mithilfe standardisierter Untersuchungen durch Manualmediziner des Institutes für Physiotherapie des Uniklinikums Jena. Zusätzlich erfolgt die Ermittlung der Gewebespannung an dem vordefinierten myofaszialen Triggerpunkt TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa) mittels *Tissue Tensiometer* (TTM), um zu verifizieren, ob eine Reduzierung der muskulären Spannung durch die Lasertherapie erzielt werden kann. Neben dieser apparativen Messung findet eine Bewertung der Druckschmerzschwelle und deren Veränderung im Studienverlauf am gleichen myofaszialen Triggerpunkt TrP₂ statt, um auch hier eine Antwort zu erhalten, ob die Therapie zur Anhebung der Schmerzschwelle und somit zu einer späteren

Schmerzwahrnehmung führt. Außerdem wird die Auswirkung der einwöchigen Laserintervention auf die subjektive Einschätzung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (SF-12) und der HWS-Beeinträchtigungen (NDI) anhand der Fragebogenauswertung ermittelt. Wichtig ist die Fragestellung, ob die Lasertherapie lediglich einen kurzen nachweisbaren Effekt auf die oben genannten Größen hat oder ob sich die gefundenen Ergebnisse ebenfalls eine Woche bzw. vier Wochen nach Intervention reproduzieren lassen.

3.2 Welche Änderungen hinsichtlich der zuvor genannten Parameter zeigen sich bei den beiden unterschiedlichen Interventionsgruppen (LLLT und HLLT) im Verlauf?

Hierbei werden die unter 3.1 genannten Bewertungsparameter Schmerzempfindung (global und spezifisch), Wirbelsäulenbeweglichkeit und muskuläre Spannung mithilfe der klinischen Untersuchung bei Patienten je nach Randomisierung zu den beiden Lasergruppen, Hard- und Softlasertherapie, bestimmt. Durch zusätzliche apparative Messung des Muskeltonus und Einschätzung der Lebensqualität soll auch hier geprüft werden, ob im Follow-up bis vier Wochen nach Intervention Behandlungseffekte in den einzelnen Laserpopulationen bestehen.

3.3 Bestehen Unterschiede zwischen den beiden Laserinterventionen in Hinsicht auf die untersuchten Parameter?

Unter dieser Fragestellung soll diskutiert werden, ob sich hinsichtlich der beiden untersuchten Laserformen (HLLT und LLLT) Abweichungen im Hinblick auf die zuvor genannten klinischen und apparativen Bewertungsparameter sowie die erhobenen Assessments zeigen. Für Letztere soll erörtert werden, ob Diskrepanzen in Bezug auf die subjektive Einschätzung der Lebensqualität im Generellen und der Beeinträchtigung der HWS im Spezifischen zwischen den Therapiegruppen mittels Auswertung der Assessment-Fragebögen aufgezeigt werden können. Zur Einschätzung dieser Parameter dienen die Assessments SF-12 (global) und NDI (nackenspezifisch). Auch hier wurde durch ein Follow-up nach Beendigung der Lasertherapie erforscht, ob überhaupt eine Wirkung des jeweiligen Lasers bei chronischen Nackenschmerzpatienten erzielt werden kann oder die Anwendung der

Lasertherapie möglicherweise eher für eine akut auftretende Schmerzsymptomatik einzusetzen ist.

Für alle erhobenen Parameter soll analysiert werden, ob eine der beiden Laserformen der anderen bei chronischen Nackenschmerzen überlegen ist und ob Behandlungseffekte im Follow-up bezüglich der Verbesserung dieser Parameter zu finden sind.

3.4 Welche Zusammenhänge bestehen zwischen klinischen Parametern, apparativen Messungen und den Outcomes hinsichtlich der Bewertung einer therapeutischen Wirksamkeit?

Unter dieser letzten Fragestellung soll geklärt werden, ob alle benutzten Instrumente dieselbe Sensitivität hinsichtlich der Bewertung der Wirksamkeit der Lasertherapie besitzen oder ob eines der verwendeten Verfahren einem anderen überlegen ist. Was für eine Aussagekraft haben die erhobenen Ergebnisse grundsätzlich bezüglich der Therapiewirksamkeit und lässt sich aus unseren Resultaten heraus erkennen, ob eine einwöchige Monotherapie mit Laser zum gewünschten Behandlungserfolg führt?

4 PROBANDEN UND METHODIK

4.1 Patienten

Im Zeitraum von Juni 2012 – August 2013 wurden am Institut für Physiotherapie der Friedrich-Schiller-Universität Jena 41 Patienten, 35 Frauen (mittleres Alter: $43,6 \pm 14,3$ Jahre) und 6 Männer (mittleres Alter: $44,2 \pm 18,0$ Jahre), mit chronischen Nackenschmerzen in eine interventionelle Therapiestudie aufgenommen. Die Patienten waren zwischen 22 und 67 Jahre alt, dies entspricht einem durchschnittlichen Altersprofil von $43,7 \pm 14,6$ Jahren. Alle Patienten nahmen freiwillig an den klinischen Untersuchungen und der Therapie teil.

Eingeschlossen wurden alle Studienteilnehmer älter als bzw. einschließlich eines Alters von 18 Jahren, die chronische, d.h. länger als drei Monate andauernde Nackenschmerzen aufgrund eines myofaszialen Schmerzsyndroms aufwiesen. Eine grundsätzliche geistige und körperliche Teilnahmefähigkeit wurde vorausgesetzt.

Als Ausschlusskriterien galten neurologische sowie akut entzündliche oder rheumatische Erkrankungen, wie z.B. das Irritations- und das Radikulärsyndrom. Patienten mit vorausgegangenen Operationen, z.B. aufgrund von Frakturen an der Halswirbelsäule, bekanntem Tumorleiden oder Diskusprolaps im Zervikal- und Thorakalbereich bis Th4 durften ebenfalls nicht an der Studie teilnehmen. Ausgeschlossen war die Inanspruchnahme von Therapien während der Studiendauer, die einen möglichen Einfluss auf den Nacken haben, wie z.B. Physiotherapie, Akupunktur, Massage, spinale Manipulation, Neuroreflextherapie, Feldenkrais.

4.2 Studiendesign

In einer prospektiv randomisierten, einzelverblindeten und kontrolliert durchgeführten interventionellen Therapiestudie wurde eine Stichprobe von 41 Patienten mit chronischen Schmerzen im zervikokraniellen Abschnitt bis einschließlich Th4 vergleichend untersucht. Dem Antrag zur Durchführung der Studie wurde von der zuständigen Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena stattgegeben. Eine Fallzahlplanung fand entsprechend den Zielparametern statt. Die Zuteilung der Studienteilnehmer zur Gruppe der Hard- oder Softlaser erfolgte nach stattgehabter Baseline-Untersuchung randomisiert. Eine verdeckte Zuweisung zur entsprechenden Lasergruppe wurde mit Zufallszahlen

durchgeführt, generiert mithilfe der Website <http://www.random.org> vor Beginn der Studie. Eine Prozedur namens „Random Integer Set Generator“ ermöglichte die Generierung von 50 Zufallszahlen in 5 Sets zu je 10 Nummern zwischen 1 (Softlaser) und 2 (Hardlaser), die bereits vor Beginn der Studie vorlagen. Einzelne fortlaufend nummerierte Karteikarten mit der vorbestimmten Zahl wurden vorbereitet und in versiegelte, undurchsichtige Umschläge gesteckt. Ein unabhängiger Therapeut des Instituts für Physiotherapie, der die Ergebnisse der Baseline-Untersuchung nicht kannte, öffnete die Umschläge, um die jeweilige Therapie mit HLL bzw. LLL beginnen zu können. Schlussendlich wurden 21 Personen in die Softlaser- und 20 Personen in die Hardlasergruppe der interventionellen Therapiestudie aufgenommen.

4.3 Studienaufbau und -durchführung

Folgendes Schema zeigt den zeitlichen Ablaufplan unserer Studie:

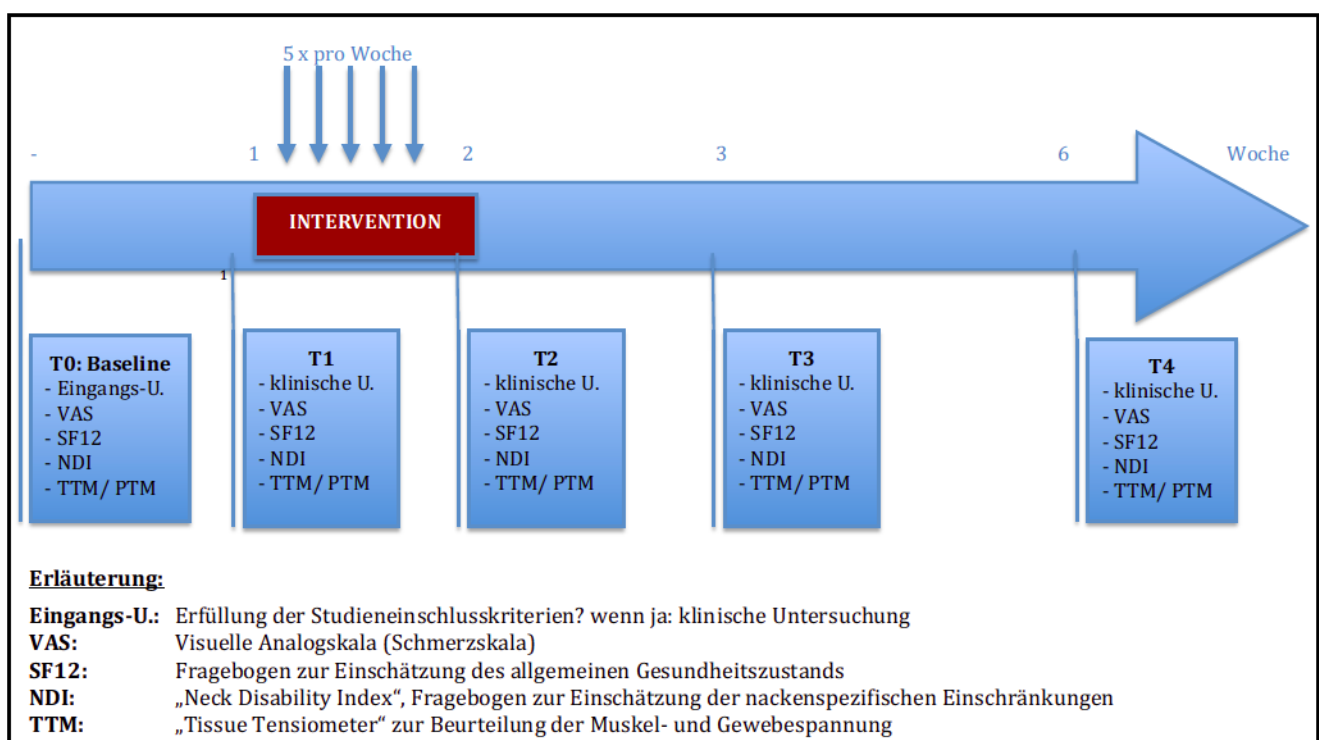


Abb. 3: Studiendesign (zeitlicher Ablauf)

Zum Zeitpunkt T0 erfolgte eine Eingangsuntersuchung zur Beurteilung der Bewertungsparameter während der Baseline-Phase bis zum Zeitpunkt T1. Sie beinhaltete die Untersuchung durch Manualmediziner des Instituts für Physiotherapie, die Objektivierung des aktuellen Schmerzes anhand der Visuellen Analogskala (VAS) sowie das Ausfüllen zweier Assessments, die einen generischen (SF-12) und einen spezifischen Fragebogen (NDI) umfassten. Eine Woche später begann die Intervention mittels Lasertherapie, die sich über fünf Therapiesitzungen an fünf aufeinanderfolgenden Arbeitstagen erstreckte. Sowohl vor der ersten (T1) als auch nach der letzten Laserbehandlung (T2) wurden, wie schon zum Zeitpunkt T0, weitere klinische Parameter und erneut Daten für die VAS und die Assessment-Bögen erhoben. Hinzu kam diesmal die apparative Messung der Gewebespannung an der myofaszialen Triggerpunktlokalisation (TrP₂) des M. trapezius (Pars transversa). Ein erstes Follow-up wurde eine Woche (T3), eine weitere Kontrolle vier Wochen (T4) nach Beendigung der Laserintervention durchgeführt. Zum Zeitpunkt T4 wurden lediglich die Schmerzskala und die beiden Fragebögen angewendet, die ein gutes Maß für die Wirksamkeit im Follow-up der verschiedenen Therapieoptionen bieten.

4.4 Bewertungsparameter

Hauptparameter für die Studie waren die generalisierte und die regionale Schmerzintensität, gemessen anhand der Visuellen Analogskala (VAS; (Huskisson 1974)) sowie anhand der Druckalgometrie eine Woche wie auch vier Wochen nach vollendeter Lasertherapie. Die Lebensqualität und die Funktionseinschränkungen im Nackenbereich wurden mithilfe des SF12-Fragebogens und mit dem „Neck Disability Index“ (NDI) erfasst.

Als Nebenparameter dienten die Funktionalität der Halswirbelsäule, die in einer manuellen Untersuchung verifiziert wurde, und die apparative Messung der Gewebespannung im Nackenbereich mittels TTM (*Tissue Tensiometer*).

4.5 Untersuchungsmittel und Messinstrumente

4.5.1 Klinische Untersuchung

Anlehnend an R. Bocker wurde zur Bewertung der Lasertherapie ein Untersuchungsbogen entwickelt, der in abgewandelter Version der standardisierten Erfassung des Gesundheitszustands der Patienten dient (Bocker 2011). Aus den unter 2.2 *Funktionelle Zusammenhänge* beschriebenen multifaktoriellen Zusammenhängen ergibt sich ein weit gefächerter Untersuchungsbogen, der Aufschluss über den gesamten Bewegungsapparat einschließlich aller angrenzenden Muskeln geben soll, die in das komplexe System eingegliedert sind. Folgende Parameter wurden erfasst:

1. Allgemeine Statik

Mithilfe der aufgeführten Standardtests sollen muskuläre Dysbalancen, d.h. Ungleichverteilungen zwischen einem aktiven Skelettmuskel (Agonisten) und seinem Gegenspieler (Antagonisten), aufgezeigt werden. Diese Dysbalancen werden begünstigt durch die natürliche Veranlagung bestimmter vorwiegend phasisch arbeitender Muskeln, die in erster Linie eine stabilisierende Haltefunktion ausüben, abzuschwächen und die Neigung tonischer Muskeln, die insbesondere der Bewegungsausführung dienen, zu verkürzen (Janda 2000). Über bestimmte Stereotype geben u.a. das obere und das untere gekreuzte Syndrom nach Janda Aufschluss (siehe 2.2 *Funktionelle Zusammenhänge*).

Schmerzen oder Muskelabschwächungen bei isometrischer Anspannung in Rotation, Seitneige und Anteflexion der Wirbelsäule werden unter dem Punkt „Isometrie“ notiert. Bei Patienten mit Gewebeläsionen destruktiver oder traumatischer Art (z.B. nach Beschleunigungstraumata), Tumoren, Frakturen und weiteren Strukturstörungen im Bewegungssegment zeigt sich in allen getesteten Ebenen ein isometrischer Anspannungsschmerz (Sachse und Schildt-Rudloff 2000). Die Prüfung auf Isometrie dient demnach als Sicherheitstest, um mögliche Patienten mit Strukturstörungen herauszufiltern und diese als Drop-Outs aus der Studie auszuschließen. Zur generellen Einschätzung der Wirbelsäulenbeweglichkeit in den unterschiedlichen Segmenten dienen das Maß nach Schober (Schober 1937), bei dem die Differenz zwischen Flexion und Extension der Wirbelsäule ermittelt wird (Normwert: 5-8cm), sowie der Finger-Boden-Abstand, der in maximaler Vorbeuge bei

komplett gestreckten Knien bestimmt wird. Wichtige Tests zur Erfassung von Funktionsstörungen im oberen Wirbelsäulenabschnitt sind die HWS-Rotationsfähigkeit, die in ° erfasst wird, und der Kinn-Jugulum-Abstand (in cm) in Ante- sowie Retroflexion. Weitere wichtige orientierende Standardtests können der Abbildung 4 entnommen werden.

1. Allgemeine Statik <input checked="" type="checkbox"/>			
oberes gekreuztes Syndrom		<input type="radio"/> ja	
unteres gekreuztes Syndrom		<input type="radio"/> ja	
		Schulterhochstand	re. <input type="radio"/> li. <input type="radio"/>
		Taillendreieck verstrichen	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
		Beckenhochstand	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
		Skoliose-Überhang	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
		Schober	<input type="text" value="10"/>
		Fingerbodenabstand	<input type="text"/> cm
		HWS Rotation	<input type="text" value="0"/>
		Kinn-Jugulum-Abstand	<input type="text"/> cm

Isometrie	Rotation		Seitneige		Anteflexion	
	re.	li.	re.	li.	re.	li.
HWS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
BWS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abb. 4: 1. Ausschnitt aus dem „Laserstudie-Untersuchungsbogen“

2. Bewegungsfunktionsstörungen der Wirbelsäule

Hier erfolgt die Beurteilung des Bewegungsausmaßes sowie der Schmerzfreiheit der drei großen Wirbelsäulenabschnitte (HWS, BWS und LWS) mittels orientierender Untersuchung. Die Funktion des Iliosakralgelenks wird gesondert auf das sogenannte Vorlaufphänomen, das die Mitnahme des Iliums durch das Sakrum bei der Anteflexion beschreibt, sowie eine mögliche Schmerzproblematik geprüft.

2. Bewegungsfunktionsstörungen <input checked="" type="checkbox"/>							
	HWS		BWS		LWS		ISG
	Fkt. Schm.		Fkt. Schm.		Fkt. Schm.		
Flexion	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	
Extension	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	
Lateralflexion re.	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	
Lateralflexion li.	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	
Rotation re.	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	
Rotation li.	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> ja	
							re. li.
	Vorlauf Anfang						<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Vorlauf Ende						<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Schmerz						<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Funktionsstörung						<input type="radio"/> <input type="radio"/>

Abb. 5: 2. Ausschnitt aus dem „Laserstudie-Untersuchungsbogen“

3. Visuelle Analogskala (VAS)

Den Hauptparameter unserer Studie stellte die Schmerzfeststellung mithilfe der *Visuellen Analogskala* dar. Bereits Huskisson beschrieb in den 1970er-Jahren die VAS als sehr sensibles, valides und verlässliches Instrument (Huskisson 1974). Im akuten Schmerzgeschehen zeigten Bijur et al. eine sehr gute Test-Retest-Reliabilität (Bijur et al. 2003). Seither hat sich die VAS als Standardinstrument zur Erfassung des subjektiven Schmerzempfindens etabliert (Bijur et al. 2001).

Auf einer 100mm langen Skala, definiert durch einen Ausgangspunkt 0 für „überhaupt keine Schmerzen vorhanden“ und einen Endpunkt 100 für „maximal vorstellbare Schmerzen“, gibt der Patient seinen subjektiv erlebten Schmerzzustand wieder. Dieser erfragte bzw. vom Patienten auf der Skala gekennzeichnete numerische Wert wird protokolliert und besitzt eine gute Reproduzierbarkeit. Durch ihre intra- und interindividuelle Vergleichsmöglichkeit von Aussagen zum Schmerzverhalten ist die VAS ein Schmerzmessverfahren, das vor allem im klinischen Alltag eine große praktische Relevanz besitzt (Winkelmann und Schreiber 1997).

Die Angaben auf der *Visuellen Analogskala* wurden im Falle unserer Studie sowohl regional für die Nackenregion als auch global für die Feststellung des allgemeinen Schmerzempfindens erfasst.

4. Muskulatur

Neben der eigentlichen Subokzipital- bzw. Nackenmuskulatur (dazugehörige Muskeln siehe 2.1 *Anatomische Grundlagen der Nackenregion*), die im Vordergrund der Untersuchung stand, wurde ebenfalls das Auftreten von Schmerz, Hypertonus und eventuellen Triggerpunkten angrenzender Muskelsysteme im Seitenvergleich beurteilt. Dabei wurden neben der Nacken- auch die supra- und infrahyoidale Muskulatur zu funktionellen Muskelgruppen zusammengefasst.

5. Muskulatur ☒

Schmerz
Hypertonus

○	○
○	○
○	○
○	○
○	○
○	○
○	○

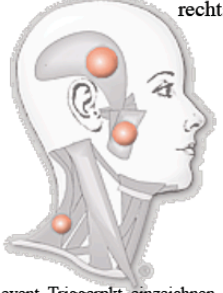
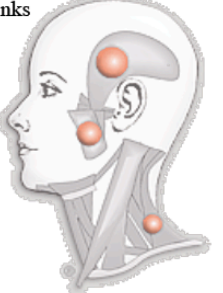
M. masseter
M. temporalis
Suboccip.-/Nacken-M.
M. trapezius
M. sternocleidomastoideus
infrahyoidale M.
suprahyoidale M.

Schmerz
Hypertonus

○	○
○	○
○	○
○	○
○	○
○	○
○	○

rechts

links

event. Triggerpkt. einzeichnen

Abb. 6: 3. Ausschnitt aus dem „Laserstudie-Untersuchungsbogen“

4.5.2 Apparative Untersuchungen

Ansatzstelle für die apparativen Untersuchungen war der Triggerpunkt TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa). Von diesem lokal druckempfindlichen Punkt können übertragene Schmerzen in die Subokzipital-/Nackenregion ausgehen (siehe Abbildung 7). Es ist bekannt, dass 80-90% der Schmerzsyndrome, so auch chronische Nackenschmerzen, auf entsprechende permanent kontrahierte Muskulatur zurückzuführen sind (Travell und Simons 2002, Harke 2009, Sachse und Schildt-Rudloff 2000). Durch therapeutische Reduktion des Muskeltonus in dieser Region soll eine Verbesserung der chronischen Nackenschmerzsymptomatik erzielt werden. Um dieses Studienziel zu kontrollieren, wurden mittels zweier Geräte der Gewebewiderstand (TTM) sowie die Druckschmerzschwelle (PTM) im zeitlichen Verlauf der Studie beobachtet.

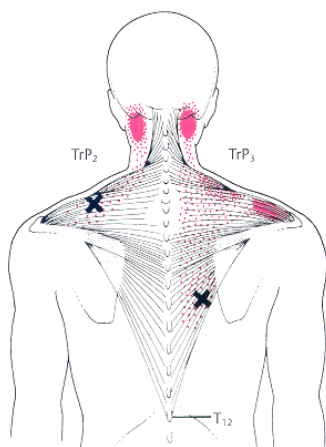


Abb. 7: schwarzes Kreuz: Triggerpunkt TrP₂
rotes Areal: dazugehöriges Ausstrahlungsareal
dieses Triggerpunktes in die Nackenregion
(Travell und Simons 2002)

4.5.2.1 Tissue Tensiometer (TTM)

Das *Tissue Tensiometer* ist ein von der Firma *Biofeedback Motor Control* aus Leipzig entwickelter Prototyp, der eigens für die 2007 durchgeführte Studie von Buchmann et al. entwickelt wurde. Es existieren lediglich zwei Exemplare davon. Mithilfe dieses Gerätes kann bei einer zuvor definierten Kraft die Eindringtiefe ins Gewebe ermittelt werden. Der Gewebewiderstand wird demnach als Verhältnis von Kraft zu Eindringtiefe (N/mm) bestimmt. Dies erfolgt mit einem eigens dafür entwickelten Stempel, der auf das Gewebe aufgesetzt wird. So ergibt sich bei zeitgleicher Erfassung von Druck und Eindringtiefe eine Weg-Kraft-Kennlinie, die schlussendlich als Gewebespannung interpretiert werden kann. Eine erhöhte Eindringtiefe des Stempels ist somit mit einer Verringerung der Gewebespannung assoziiert, andersherum bedeutet dies, dass eine geringere Eindringtiefe des Stempels bei gleicher Kraft als ein erhöhter Gewebewiderstand anzusehen ist. Gemessen wurde der myofasziale Triggerpunkt TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa) beidseits mit vordefinierter Kraft von 12Nm. Mit einer Software erfolgen die Erfassung und die Auswertung der Patientendaten. Buchmann et al. kommen in einer 2007 durchgeführten Pilotstudie zu dem Schluss, dass sich das TTM für Studienzwecke zur Verifizierung von Triggerpunkten eignet (Buchmann et al. 2007).

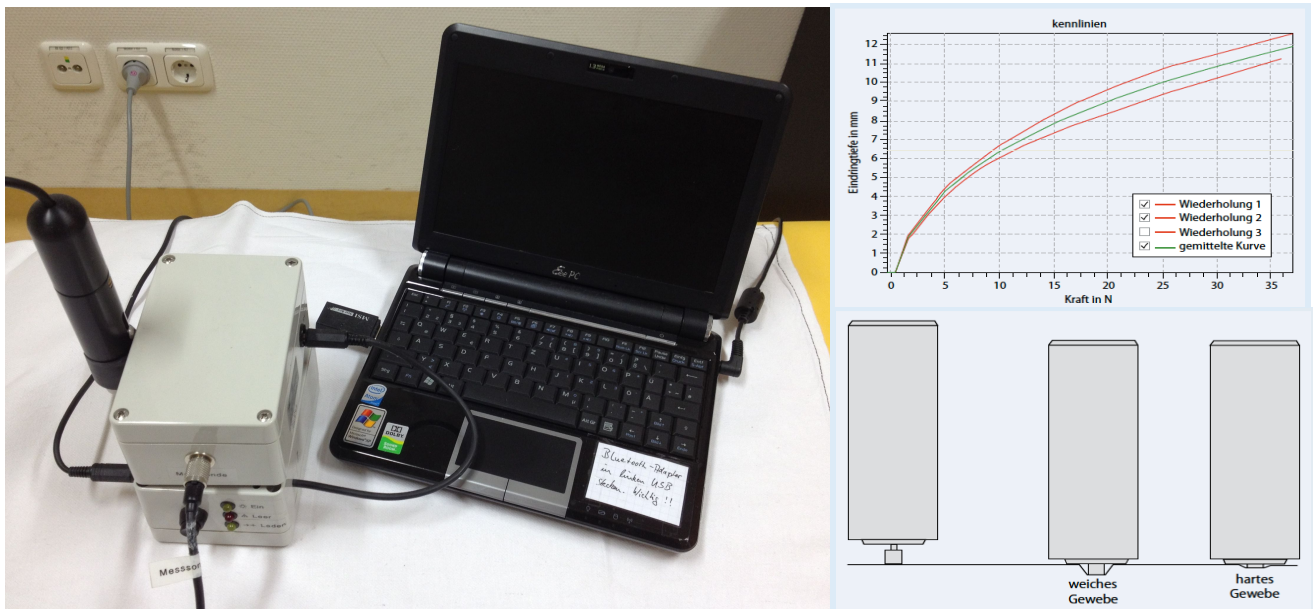


Abb. 8: Geräteaufbau (links), Weg-Kraft-Diagramm, aus dem sich die Gewebespannung ergibt (rechts oben) und Funktionsprinzip des TTM-Stempels (rechts unten) (Buchmann et al. 2007)

4.5.2.2 *Pressure Threshold Meter (PTM)*

Da die manuelle Palpation stark von der Palpationstechnik sowie der Einschätzung des jeweiligen Untersuchers abhängt (Jensen 1990), eignet sich ein Druckalgometer zur standardisierten Erfassung der Druckschmerzschwelle wie auch zur Quantifizierung der Befunde. Unter Zuhilfenahme dieses Gerätes kann eine gute Reproduzierbarkeit der Druckschmerzschwelle einzelner Muskeln erzielt werden (Kinser et al. 2009).

Zur Ermittlung dieser Schwelle wird das Gerät der Firma *pain diagnostics & Thermography* senkrecht zur Hautoberfläche auf den Triggerpunkt TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa) aufgesetzt und mit einer kontinuierlichen Kraftsteigerung von 1kp pro Sekunde wird so lange Druck ausgeübt, bis die Schmerzschwelle erreicht ist. Der erzielte Wert ist dann in Kilogramm am Gerät abzulesen. Ein Wert unter 2,0 kp/cm² wird laut Lautenschläger et al. als pathologisch angenommen (Lautenschläger et al. 1988).



Abb. 9: Pressure Threshold Meter zur Ermittlung der Druckschmerzschwelle

4.5.3 *Assessments*

4.5.3.1 *Short-Form-12 Health Survey (SF-12)*

Mit dem SF-12 steht seit 1994 eine ökonomische Kurzform des *SF-36 Health Survey* zur Verfügung. Er ist als krankheitsübergreifendes generisches Messinstrument konzipiert, das zur Erfassung von Therapieerfolgen mittels subjektiver Einschätzung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität dient. Übersetzungen existieren in über 40 Sprachen, wobei die deutsche Version von Monika Bullinger und Inge Kirchberger entwickelt wurde (Bullinger et al. 1995).

Inhalt des SF-12 sind neben dem allgemeinen Gesundheitszustand das Auftreten von Schmerzen und die Beeinträchtigung im Alltag durch seelische Probleme in einem festgelegten Zeitraum von vier Wochen vor der Datenerhebung. Der SF-12 Health Survey umfasst 12 Items des gesamten SF-36-Fragebogens, die aus Erkenntnissen in der Anwendung des SF-36 resultieren. Es erfolgt eine alters- und eine geschlechtsspezifische Auswertung, die zusammengefasst zwei Summenscores ergibt:

1. Physische Komponentenskala (PSC-12) bzw. Körperlicher Summenscore (KS)
2. Psychische Komponentenskala (MSC-12) bzw. Psychischer Summenscore (PS)

Die ermittelten Skalenanteile können Werte zwischen 0 und 100 Punkte erreichen, niedrige Werte spiegeln schlechteres, höhere Werte besseres Befinden wider. Dabei bedeuten bereits Werte um 50 Skalenpunkte ein durchschnittlich gutes subjektives Wohlbefinden, da der Fragebogen auf einen Mittelwert von 50 mit einer Standardabweichung ± 10 transformiert wird, was eine übersichtlichere und einfachere Vergleichbarkeit in der graphischen Darstellung der Ergebnisse gewährleistet (Bullinger et al. 1995).

Es wurde festgestellt, dass die körperliche Funktionsfähigkeit und die psychische Komponente 80-85% der Varianz der acht Skalen des SF-36 aufklären, sodass eine Reduktion der Itemzahl ohne schwerwiegende Verluste an Informationen möglich ist (Radoschewski und Bellach 1999).

4.5.3.2 Neck Disability Index (NDI)

Der NDI, eine Weiterentwicklung des „Oswestry-Low-Back-Pain-Index“, dient der quantitativen Beurteilung von Halswirbelsäulenbeeinträchtigungen einschließlich Schleudertraumata (Vernon und Mior 1991). Der Fragebogen besteht aus 10 Items, vier davon gehen auf die subjektive Symptomatik ein („Schmerzintensität“, „Kopfschmerzen“, „Konzentration“ und „Schlaf“), sechs Punkte beschäftigen sich mit Beeinträchtigungen des alltäglichen Lebens: „Aufheben“, „Arbeit“, „Fahren“, „Freizeitaktivitäten/Hobbys“ sowie „Lesen“. In den 10 Bereichen existieren jeweils sechs Antwortmöglichkeiten, die auf einer Ordnungsskala von 0 (keine Behinderung) bis 5 (totale Behinderung) angegeben werden. Im schlechtesten Fall, d.h. bei

maximaler Behinderung, können somit 50 Punkte erreicht werden. Das Ausfüllen und Auswerten des Bogens nimmt nicht mehr als 5-10min ein und verlangt dem Anwender keine weiteren besonderen Fähigkeiten ab. Somit kann der Neck Disability Index als klinisch nützliches, ökonomisches Instrument eingestuft werden, in der Annahme, dass eine Änderung von mindestens 10% des Summenscores klinisch relevant sei. Vernon und Mior legten die Skaleneinteilung wie folgt fest: 0-4 = „keine Beeinträchtigungen“, 5-14 = „minimale Beeinträchtigungen“, 15-24 = „moderate Beeinträchtigungen“, 25-34 = „schwere Behinderung“, > 35 = „komplette Behinderung“.

Die Test-Retest-Reliabilität konnte bei Patienten mit Schleudertraumata über eine zweitägige Periode als hoch eingestuft werden (Vernon und Mior 1991); zu ähnlichen Ergebnissen kamen Ackelmann et Lindgren über einen Zeitraum von drei Wochen bzw. drei Monaten bei chronischen Nackenschmerzpatienten (Ackelman und Lindgren 2002). Ebenfalls im Jahre 2002 zeigten Pietrobon et al. eine Korrelation des NDI mit der Visuellen Analogskala (Korrelationskoeffizient 0,6; (Pietrobon et al. 2002)).

4.6 Statistik

Die statistische Auswertung wurde unter Zuhilfenahme von „SPSS Statistics 21“ (2012) durchgeführt.

Zur Überprüfung der Normalverteilung einer Stichprobe wurde zunächst der Kolmogorow-Smirnov-Test (K-S-Test) mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors (bessere Trennschärfe als K-S-Test) genutzt, der, im Gegensatz zum Pearson- χ^2 -Test, für kleine Stichproben (Anzahl der Daten < 30) geeignet ist. Da jedoch auch dieser Test eine geringe Güte, d.h. einen hohen β -Fehler (Fehler 2. Art) besitzt, erfolgte eine Gegenkontrolle mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests, der als Test höchster Güte (geringer β -Fehler) bezeichnet wird. Lag eine Irrtumswahrscheinlichkeit p größer oder gleich 0,05 vor, wurde die Nullhypothese behalten und es konnte angenommen werden, dass eine hinreichende Normalverteilung vorliegt.

Aufgrund der kleineren Gruppengrößen der einzelnen Lasergruppen erfolgte die weitere statistische Auswertung mithilfe von nichtparametrischen Tests. Der Friedman-Test für verbundene Stichproben ist als nichtparametrisches Verfahren zum Überprüfen zentraler Tendenzen bei mehr als zwei Messzeitpunkten bei

einzelnen, nicht-normalverteilten Parametern eingesetzt worden. Zeigte sich in diesem Test ein signifikanter Verlauf, wurde mithilfe des Wilcoxon-Tests für zwei verbundene Stichproben und Nicht-Normalverteilung als sogenannter Post-Hoc-Test ermittelt, zwischen welchen Messzeitpunkten ein statistisch auffälliger Verlauf zu finden ist. Dabei wurden alle möglichen Paarvergleiche berechnet, d.h. die Messzeitpunkte T0 und T1, T0 und T2, T0 und T3 usw. Die α -Inflation, d.h. ein Anstieg des Fehlers 1. Art mit der Anzahl der Testungen, wird mit der Option „Haupteffekte vergleichen“ und „Anpassung des Konfidenzintervalls“ auf die Bonferroni-Prozedur korrigiert. Damit wird eine Beurteilung des Verlaufs einzelner Parameter ermöglicht.

Die weiteren beschriebenen Tests galten dem Vergleich gruppenspezifischer Parameter. Mit dem χ^2 -Test wurde untersucht, ob sich die Soft- von der Hardlasergruppe hinsichtlich ihrer Varianzen unterscheidet. Dabei eignet sich dieser Test für Varianzen von Variablen auf allen Skalenniveaus. Im Sonderfall, dass die Variablen X und Y jeweils nur zwei mögliche Ausprägungen besitzen (dichotomes Merkmal), konnte mit der Vierfeldertafel als spezielles Auswertverfahren gearbeitet werden. Mit dem Mann-Whitney-U-Test bei unverbundenen Stichproben erfolgte ein Mittelwertvergleich zwischen LLL- und HLL-Gruppe. Hierbei musste zunächst ein Test auf Varianzhomogenität (sog. Levene-Test) durchgeführt werden, der bei vorliegender Homogenität nicht signifikant sein sollte. Entsprechend dem Vorliegen von Homogenität wurde danach die Signifikanz des U-Tests nach Mann&Whitney abgelesen. Der McNemar-Test, ebenfalls aus der Gruppe der χ^2 -Tests, wurde für alle verbundenen Stichproben benutzt, bei denen die Ausprägung eines dichotomen Merkmals vorhanden war. Er gehört ebenfalls zu den nichtparametrischen Tests und eignet sich für wiederholte Messungen an unseren Patienten zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten T. Dabei wird als Nullhypothese angenommen, dass sich die Untersuchungen eins und zwei nicht in ihrer Häufigkeitsverteilung unterscheiden.

5 ERGEBNISSE

5.1 Gesamtpopulation (HLLT und LLLT)

5.1.1 Klinische Untersuchung

5.1.1.1 Allgemeine Statik

Vorwegnehmend lässt sich feststellen, dass bei der Prüfung der Isometrie als Safety-Test zum möglichen Ausschluss von Patienten mit Strukturstörungen im HWS-Bereich kein Studienteilnehmer ausgeschlossen werden musste, da bei keinem unserer Nackenschmerzpatienten eine auffällige Isometrie in allen drei Ebenen (Rotation, Lateralflexion und Flexion) vorlag.

Daten zum oberen und unteren gekreuzten Syndrom wurden lediglich bei der Baseline-Untersuchung (T0 zu T1) und der abschließenden Kontrolle vier Wochen nach Laserintervention (T4) gesammelt, weil bei diesen Parametern keine kurzfristigen Änderungen zu erwarten sind.

ALLGEMEINE STATIK							
	T0			T1	T2	T3	T4
	re.	li.	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
ogS			13				3
ugS			13				6
Schulterhochstand	14	15	29	26	24	21	21
Taillendreieck verstrichen	8	10	19'	18'	12'	15'	13'
Beckenhochstand	9	6	15	16	12	10	10
Skoliose	5	5	10	8	6	3	6

Tab. 1: Häufigkeiten der klinischen Funktionsstörungen (T0-T4); n=41 (' jeweils bei einem Patienten zusätzlich ein verstrichenes Taillendreieck auf beiden Seiten)

Zum Aufnahmezeitpunkt T0, eine Woche vor geplanter Laserintervention, wiesen jeweils 13 von 41 Patienten ein oberes gekreuztes (ogS) und ein unteres gekreuztes Syndrom (ugS) auf, d.h Dysbalancen zwischen abgeschwächter Haltemuskulatur und verkürzten tonisch arbeitenden Muskeln, die der Bewegungsausführung dienen. Darunter waren zwei Betroffene, die sowohl ein ogS als auch ein ugS aufzeigten. Die Anzahl reduzierte sich im Verlauf der insgesamt sechs Wochen, die zwischen der Aufnahme- und der Abschlussuntersuchung (T4) lagen, auf drei Patienten mit oberem und sechs Patienten mit unterem gekreuzten Syndrom (siehe Tabelle 1). Diese Verbesserung konnte für das ogS auf dem Signifikanzniveau $p \leq 0,05$ mit dem

McNemar-Test statistisch verifiziert werden ($p=0,013$), für das untere gekreuzte Syndrom wurde mit $p=0,065$ keine Signifikanz erzielt, eine Tendenz hin zur Verminderung dieses Syndroms zeichnete sich jedoch ab.

Bei 29 Testpersonen wurde ein Schulterhochstand ermittelt, dieser trat in 14 Fällen rechts- und in 15 Fällen linksseitig auf. Ein verstrichenes Taillendreieck, das auf eine seitliche Abweichung der Wirbelsäule hindeutet, zeigte sich bei insgesamt 19 Untersuchten. Bei mehr als einem Drittel der Getesteten wurde ein Beckenhochstand nachgewiesen, dabei kam dieser vor allem auf der rechten Seite bei neun betroffenen Patienten vor im Vergleich zu sechs Personen, die ihn linksseitig aufwiesen. Bei 10 der 41 Getesteten wurde eine skoliotische Verbiegung dokumentiert, die in beiden Richtungen mit fünf Betroffenen jeweils gleich häufig festgestellt wurde.

Direkt vor der ersten Lasertherapie wurden die klinischen Parameter ein weiteres Mal erhoben (T1), um mögliche Spontanänderungen der bei T0 festgestellten Werte zu ermitteln. Dabei zeigte sich eine Verminderung der Schulterhochstände auf 26 Patienten (11 Personen rechts- und 15 Patienten linksseitig). Die Anzahl der verstrichenen Taillendreiecke blieb im Gesamten mit 18 Betroffenen annähernd gleich, jedoch änderte sich die Aufteilung dahingehend, dass bei neun Getesteten auf der rechten Seite, bei acht auf der linken Seite und bei einem Patienten auf beiden Seiten ein verstrichenes Taillendreieck diagnostiziert wurde. Bei 16 Personen wurde ein Beckenhochstand zum Zeitpunkt T1 festgestellt, somit trat dieser bei einer weiteren Person im Vergleich zu T0 auf. Mit acht Betroffenen wurde eine skoliotische Verbiegung zwei Mal weniger ermittelt. Insofern ergaben sich nur geringe Abweichungen zur Eingangsuntersuchung. Die Häufigkeit von Schulterhochständen nahm im Verlauf der Untersuchungen T2, d.h. direkt nach Vollendung der Laserintervention, bis hin zur T4, vier Wochen nach der letzten Lasertherapie, kontinuierlich ab. Zum Messzeitpunkt T4 betrug die Anzahl der Personen mit Schulterhochstand noch 21. Ein verstrichenes Taillendreieck wiesen nach Abschluss der Beobachtungsperiode noch 13 der ursprünglich 18 Patienten auf. Auch die Anzahl der Patienten, die zum Beginn der Beobachtungen einen Beckenhochstand zeigten, nahm im Verlauf von 15 auf 10 ab. Die Zahl der Personen, bei denen eine echte bzw. funktionelle Skoliose nachgewiesen werden konnte, reduzierte sich zunächst auf sechs zur T2 und drei zur T3, bevor sie zum Zeitpunkt T4 wieder auf sechs Fälle anstieg. Die genannten statischen Parameter SHS, verstrichenes Taillendreieck, BHS und skoliotische Verbiegung zeigen alle eine tendenzielle Verbesserung an, diese

konnte jedoch nicht auf Signifikanzniveau nachgewiesen werden.

Tabelle 2 stellt die wichtigsten Parameter zur Bewegungsprüfung übersichtlich dar:

ALLGEMEINE BEWEGUNGSMAßE						
Median (IQ)	T0	T1	T2	T3	T4	T1-T4
Maß nach Schober (cm)	6,5 (1,3)	7,0 (2,0)	8,0 (3,0)	7,0 (3,0)	7,0 (2,5)	0,120
FBA (cm)	0,0 (14,0)	0,0 (9,0)	0,0 (11,0)	0,0 (7,0)	0,0 (9,0)	0,382
KJA (cm)	18,0 (4,0)	17,0 (3,8)	18,0 (4,0)	18,0 (3,8)	17,5 (4,0)	0,300
HWS-Rotation ROM (°)	145,0 (38,0)	142,5 (35,0)	150,0 (20,0)	152,5 (34,0)	155,0 (34,0)	0,020

Tab. 2: Mediane (IQ) der allgemeinen Bewegungsausmaße (T0-T4), T1-T4: Friedman-Test ($p \leq 0,05$), FBA: Finger-Boden-Abstand, KJA: Kinn-Jugulum-Abstand, ROM: Range of Motion; n=41

Der ermittelte Median des Schober-Maßes lag zwischen maximaler Wirbelsäulenflexion und -extension bei 6,5cm und somit im Normbereich von 5-8cm (Schober 1937). Der Finger-Boden-Abstand, welcher ebenfalls zur Funktionsprüfung der Wirbelsäule benutzt wird, zeigte zur Baseline-Untersuchung (T0 zu T1) einen Wert von 0,0cm.

Mögliche Funktionseinschränkungen der Halswirbelsäule wurden mithilfe der HWS-Rotationsfähigkeit und des Kinn-Jugulum-Abstands herausgefunden. Die HWS-Rotation ergab eine Gesamtbeweglichkeit (ROM) von 145,0°. Die Differenz zwischen Flexion und Retroflexion des Caput erzielte zur Aufnahmeuntersuchung einen Median von 18,0cm. Das Maß nach Schober wies eine spontane Beweglichkeitsverbesserung der Wirbelsäule um 0,5cm zwischen Messzeitpunkt T0 und T1 auf. Zur Kontrollmessung nach Lasertherapiebeendigung verbesserte sich diese noch einmal auf 8,0cm. Zu den Kontrollpunkten T3 und T4 war im Vergleich zu T2 eine Rückbildung der Wirbelsäulenbeweglichkeit um 1,0cm nachzuweisen, diese blieb jedoch bis zum Schluss auf einem Plateau und damit über dem Ausgangsniveau (T3: 7,0cm und T4: 7,0cm). Für das Maß nach Schober zeigte sich mit $p=0,007$ ein signifikantes Ergebnis mittels Wilcoxon-Test, das eine statistisch relevante Verbesserung der Wirbelsäulenbeweglichkeit von der Aufnahme- (T0) bis zur Kontrolluntersuchung direkt nach Lasertherapieende (T2) aufzeigt. Über den gesamten Beobachtungszeitraum T0 bis T4 konnte diese Aussage mit Hilfe der Friedman-Trendanalyse jedoch nicht bestätigt werden ($p=0,120$). Der FBA ergab keine Veränderung des Zentralwertes, lediglich der Interquartilsabstand schwankte zwischen 7,0cm (T3) und 11,0cm (T2). Beim Fingerbodenabstand ergaben sich also

keine signifikanten Abweichungen der Messwerte voneinander.

Für den Kinn-Jugulum-Abstand ließen sich im weiteren Verlauf keine Veränderungen feststellen. Während der Referenzwert zur T1 auf 17,0cm absank, stieg er danach zu den Zeitpunkten T2 und T3 auf 18,0cm an, zum Ende erreichte er einen medianen Wert von 17,5cm.

Die HWS-Rotationsfähigkeit nahm in der Baseline-Phase (T1) auf ein ROM von 142,5° ab. Unmittelbar nach Beendigung der Lasertherapie überstieg das Bewegungsausmaß seinen ursprünglichen Wert (T2: 150,0°), um danach eine weitere Verbesserung auf insgesamt 152,5° erkennen zu lassen. Dieser Wert steigerte sich mit 155,0° ein weiteres Mal zum Follow-up hin (siehe Tabelle 2). Im Studienverlauf zeigte sich hier eine Verbesserung der gesamten Halswirbelsäulenbeweglichkeit (ROM) auf einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$.

5.1.1.2 Bewegungsfunktionsstörungen der Wirbelsäule

Im Halswirbelsäulenbereich stellte sich erwartungsgemäß dar, dass mit 65,9% ein hoher Anteil der chronischen Nackenschmerzpatienten unter Funktionsstörungen, teils mit zusätzlichen Schmerzen, litten.

BEWEGUNGSFUNKTIONSTÖRUNGEN DER WIRBELSÄULE- HWS											
	T0				T1	T2	T3	T4			
	FS	S	FS + S	Σ	Σ	Σ	Σ	FS	S	FS + S	Σ
Flexion	1	0	2	3	8	5	6	7	1	2	10
Extension	4	1	6	11	10	6	4	2	2	1*	5
Lateralflexion rechts	4	3	10	17	18	7	6	2	4	2*	8
Lateralflexion links	7	4	9	20	18	7	10	2	2	2*	6
Rotation re.	6	3	5	14	12	9	8	2	2	6	10
Rotation li.	9	2	3	14	12	7	6	2*	2	4	8

Tab. 3: Häufigkeiten der Bewegungsfunktionsstörungen der HWS (T0-T4), * Friedman-Test ($p \leq 0,05$), FS: Funktionsstörung; S: Schmerz; n=41

Diese traten gehäuft bei der Lateralflexion nach rechts (17 Angaben zur Funktionsstörung, zum Schmerz oder zur Kombination aus beidem) und links auf (knapp 50% zeigten Funktionsstörungen, Schmerzen oder beides) sowie bei rotatorischen Bewegungen des Kopfes (nach rechts und links jeweils 14 Patienten mit einer Funktionsstörung, Schmerzen oder der Kombination aus beidem). Seitens der Flexionsbewegung konnte im Studienverlauf keine Tendenz zur Symptomverbesserung oder -verschlechterung festgestellt werden (siehe Tabelle 3).

Für die Einschränkungen bei der Extension der Halswirbelsäule zeigte sich mit $p=0,036$ eine statistisch signifikante Verminderung der Funktionseinschränkungen in Kombination mit Schmerzsymptomatik von sechs auf eins. Die Häufigkeit von Befunden bei der Lateralflexion nach rechts konnte ebenfalls von 10 auf zwei gesenkt werden ($p=0,001$). Dies bestätigte sich für die Lateralflexion nach links mit einer Reduktion von Funktionseinschränkungen in Kombination mit Schmerzen von neun auf zwei Betroffene zum Zeitpunkt T4 ($p=0,009$). Eine Tendenz der Verminderung von Einschränkungen von 14 auf 10 Personen bei der Rotation nach rechts ist erkennbar, diese zeigte jedoch keine statistische Relevanz. Anders verhielt es sich für die Gegenseite (Rotation links), hier wurde eine Reduktion der Funktionsstörungen bei der Bewegung von neun auf zwei Betroffene mit $p=0,028$ nachgewiesen. Abbildung 10 fasst die wesentlichen Ergebnisse zusammen:

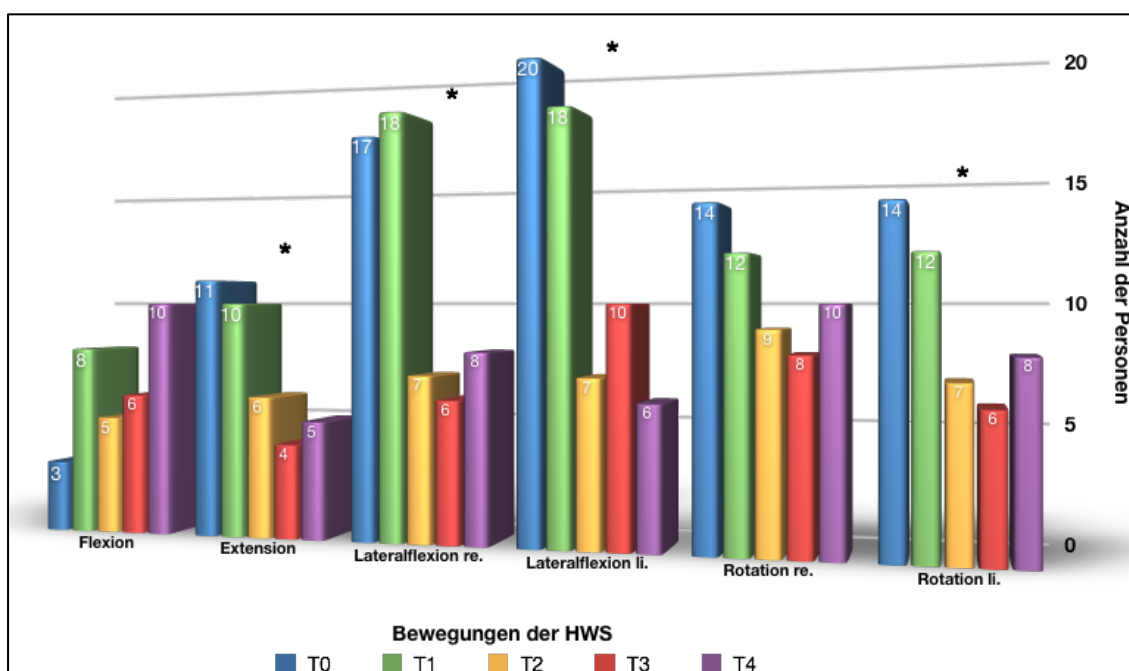


Abb. 10: Häufigkeiten der Bewegungsfunktionsstörungen der HWS (T0-T4), * Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

Im Bereich der BWS traten, ähnlich wie zu Beginn im Bereich der HWS, bei knapp der Hälfte (46,3%) aller Getesteten Funktionsstörungen und/oder Schmerzen bei Flexion, Extension, Lateralflexion und Rotation auf. Im LWS-Abschnitt konnten lediglich bei 11 Personen Bewegungsstörungen und/oder Schmerzverhalten festgestellt werden, die vorrangig bei Flexion, Extension und Seitneige auffällig

wurden. Zuletzt erfolgte an dieser Stelle die Betrachtung des Iliosakralgelenks auf Vorlaufphänomene, Schmerzen und Funktionsstörungen. Bei 13 Patienten fiel ein Vorlaufphänomen am Anfang auf, darunter viermal rechts- und neunmal linksseitig. Ein Vorlaufphänomen am Ende wurde bei zwei Testpersonen ermittelt, in beiden Fällen trat dies auf der rechten Seite auf. Fünf Getestete gaben Schmerzen im ISG an (drei Personen rechts-, zwei Personen linksseitig) und Funktionsstörungen zeigten sich bei insgesamt sieben Patienten, vorwiegend linksseitig mit sechs von sieben Betroffenen. Bei den meisten Bewegungsformen der Brust- und Lendenwirbelsäule sowie des ISG stellte sich tendenziell eine Abnahme der Funktionsstörungen und/oder der Schmerzen dar. Im Vergleich zur HWS waren diese Befunde nicht signifikant. Genauere Aufschlüsselungen zu den Angaben der BFS in den Wirbelsäulensegmenten BWS, LWS und ISG sind der Tabelle 4 sowie den Abbildungen 11 und 12 zur Verlaufsdarstellung (T0 zu T4) zu entnehmen.

BEWEGUNGSFUNKTIONSSTÖRUNGEN DER WIRBELSÄULE- BWS, LWS und ISG												
T0	BWS				LWS				ISG			
	FS	S	FS + S	Σ	FS	S	FS + S	Σ		re.	li.	Σ
Flexion	3	2	0	5	4	0	2	6	Vorlauf Anf.	4	9	13
Extension	8	0	3	11	3	1	2	6	Vorlauf Ende	2	0	2
Lateralflexion rechts	3	3	1	7	6	0	1	7	Schmerz	3	2	5
Lateralflexion links	2	0	1	3	6	0	1	7	FS	1	6	7
Rotation re.	1	4	2	7	0	1	0	1				
Rotation li.	2	3	3	8	0	0	0	0				
T4	BWS				LWS				ISG			
	FS	S	FS + S	Σ	FS	S	FS + S	Σ		re.	li.	Σ
Flexion	0	2	2	4	1	0	3	4	Vorlauf Anf.	3	3	6
Extension	6	1	2	9	3	1	0	4	Vorlauf Ende	1	1	2
Lateralflexion rechts	0	1	1	2	1	0	0	1	Schmerz	2	0	2
Lateralflexion links	0	1	2	3	1	0	0	1	FS	1	1	3'
Rotation re.	0	1	1	2	0	0	0	0				
Rotation li.	0	1	1	2	0	0	0	0				

Tab. 4: Häufigkeiten der Bewegungsfunktionsstörungen der BWS, LWS und des ISG (T0-T4), FS: Funktionsstörung; S: Schmerz; n=41 (' zusätzlich eine Funktionsstörung auf beiden Seiten)

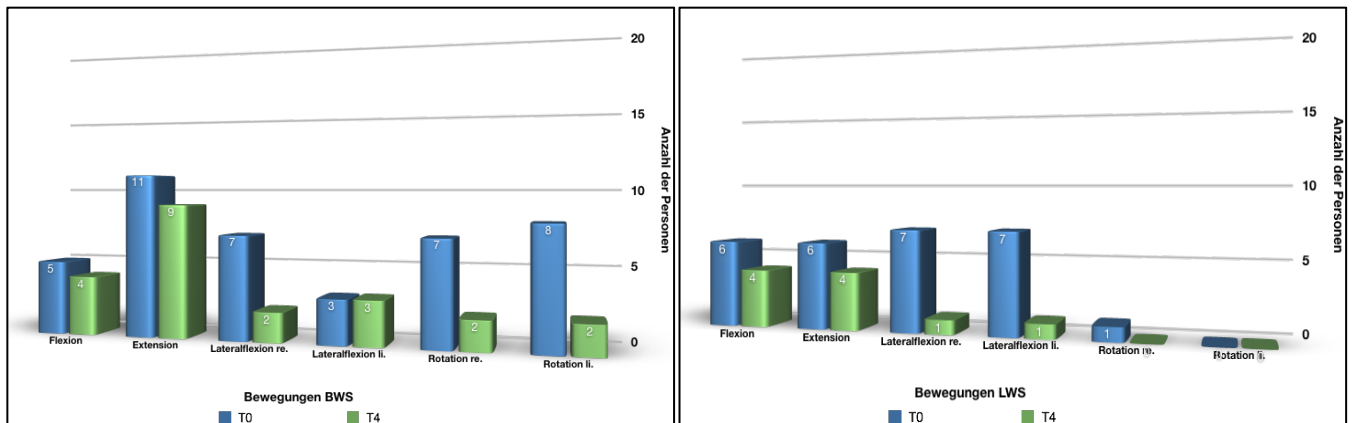


Abb. 11 und 12: Häufigkeiten der Bewegungsfunktionsstörungen im Bereich der BWS (links) und LWS (rechts) zu den Messzeitpunkten T0 und T4; n=41

5.1.1.3 Visuelle Analogskala (VAS)

Erwartungsgemäß bei chronischen Schmerzpatienten wurden bereits zu Beginn der Studie ein regionaler Schmerz (Nackenregion) von 50 und ein globaler Schmerz von 20 Skalenpunkten auf der *Visuellen Analogskala* von 0-100 ermittelt.

VISUELLE ANALOGSKALA										
Median (IQ)	T0	p	T1	p	T2	p	T3	p	T4	T1-T4
VAS regional	50,0 (30,0)	0,053	40,0 (49,0)	0,044	32,5 (28,0)	0,046	30,0 (30,0)	0,895	30,0 (39,0)	0,000
VAS global	20,0 (28,0)	0,838	20,0 (40,0)	0,491	30,0 (38,0)	0,010	20,0 (29,0)	0,218	20,0 (50,0)	0,045

Tab. 5: Mediane (IQ) der Visuellen Analogskala (VAS), T1-T4: Friedman-Test ($p \leq 0,05$), p : Wilcoxon-Test ($p \leq 0,05$); n=41 (p-Werte mit 0,000 gekennzeichnet sind streng genommen nicht gleich null, sondern $p \leq 0,001$)

Im weiteren Verlauf war eine Abnahme der regionalen Schmerzintensität zu beobachten. Während der VAS in der Nackengegend zur T1, d.h. direkt vor der ersten Laserintervention, im mittleren Ergebnis 40 betrug, konnte zur T2 (direkt nach der letzten Therapiesitzung) ein VAS von 32,5 erhoben werden. Eine Woche nach der letzten Lasertherapie wurde der Schmerz von den Patienten mit einem Median von 30 Punkten angegeben und hielt sich auch 4 Wochen danach auf diesem Niveau. Mit $p \leq 0,000$ zeigte sich für die regionalen VAS-Werte ein höchst signifikanter Wert für die Zweifach-Rangvarianzanalyse verbundener Stichproben nach Friedman, sodass im Post-Hoc-Test nach Wilcoxon folgende Messzeitpunkte als signifikant abweichend von einem anderen ermittelt wurden: T0 von T2 ($p=0,001$), T0 von T3 ($p \leq 0,000$), T0 von T4 ($p \leq 0,000$), T1 von T2 ($p=0,044$), T1 von T3 ($p=0,002$) und T1 von T4

($p=0,026$). Dementsprechend ist eine relevante Schmerzverminderung von der Baseline hin zu den Messzeitpunkten T2-T4 nach Lasertherapiebeendigung belegbar. Die Reduktion beim regionalen Schmerz spiegelt sich in den VAS-Werten für die Feststellung des allgemeinen Schmerzempfindens nicht wider. Zur T1 betrug die Schmerzintensität 20, direkt nach den 5 Lasertherapien 30, eine Woche später 20 und bei der Abschlussuntersuchung 4 Wochen nach der letzten Intervention wiederum 20 Punkte (Tabelle 5). Dabei ergab sich im Wilcoxon-Test eine signifikante Veränderung von T2 zu T3 ($p=0,010$). Auch der Gesamtverlauf nach Friedman weist mit $p=0,045$ ein statistisch signifikantes Ergebnis auf (Abbildung 13).

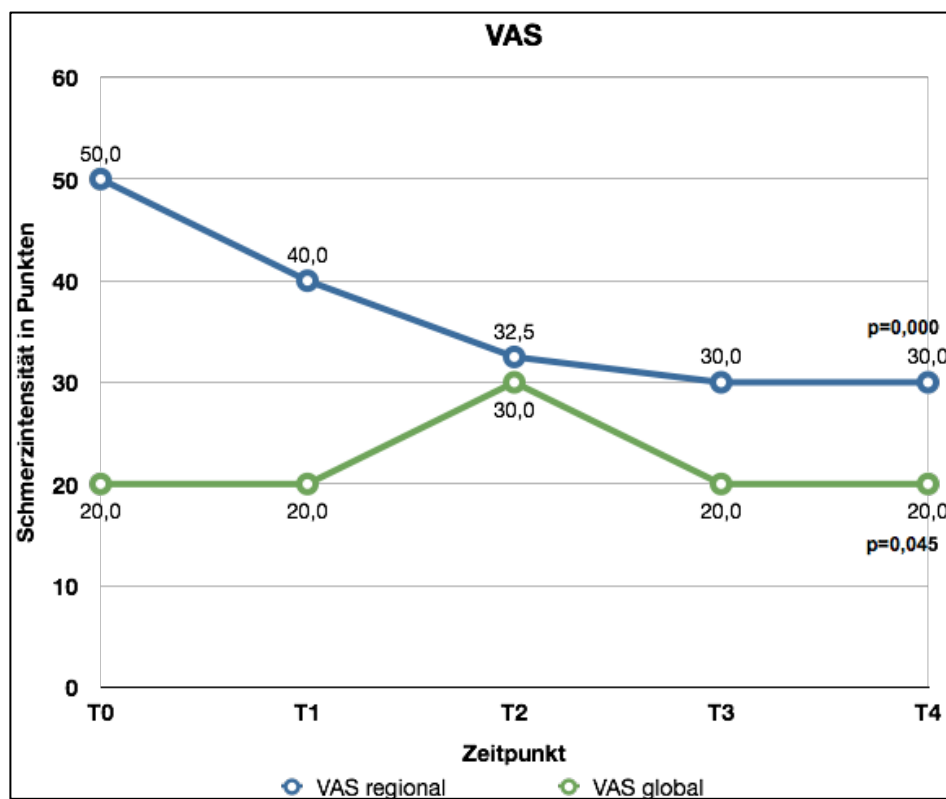


Abb. 13: Mediane (IQ) der Visuellen Analogskala (T0-T4), p : Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

5.1.1.4 Muskulatur

Ein weiterer klinischer Aspekt bezog sich auf die Untersuchung von Schmerz und Hypertonus der Subokzipital- bzw. Nackenmuskulatur sowie der daran angrenzenden muskulären Strukturen. Zunächst wurden Hypertonus und Schmerzen der unterschiedlichen Muskeln bzw. Muskelgruppen zum Aufnahmezeitpunkt T0 geprüft. Die Abbildungen 14 und 15 fassen die dabei erhobenen Befunde anschaulich zusammen. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass Schmerzen weniger häufig auftraten, als hypertone Muskeln zu finden waren.

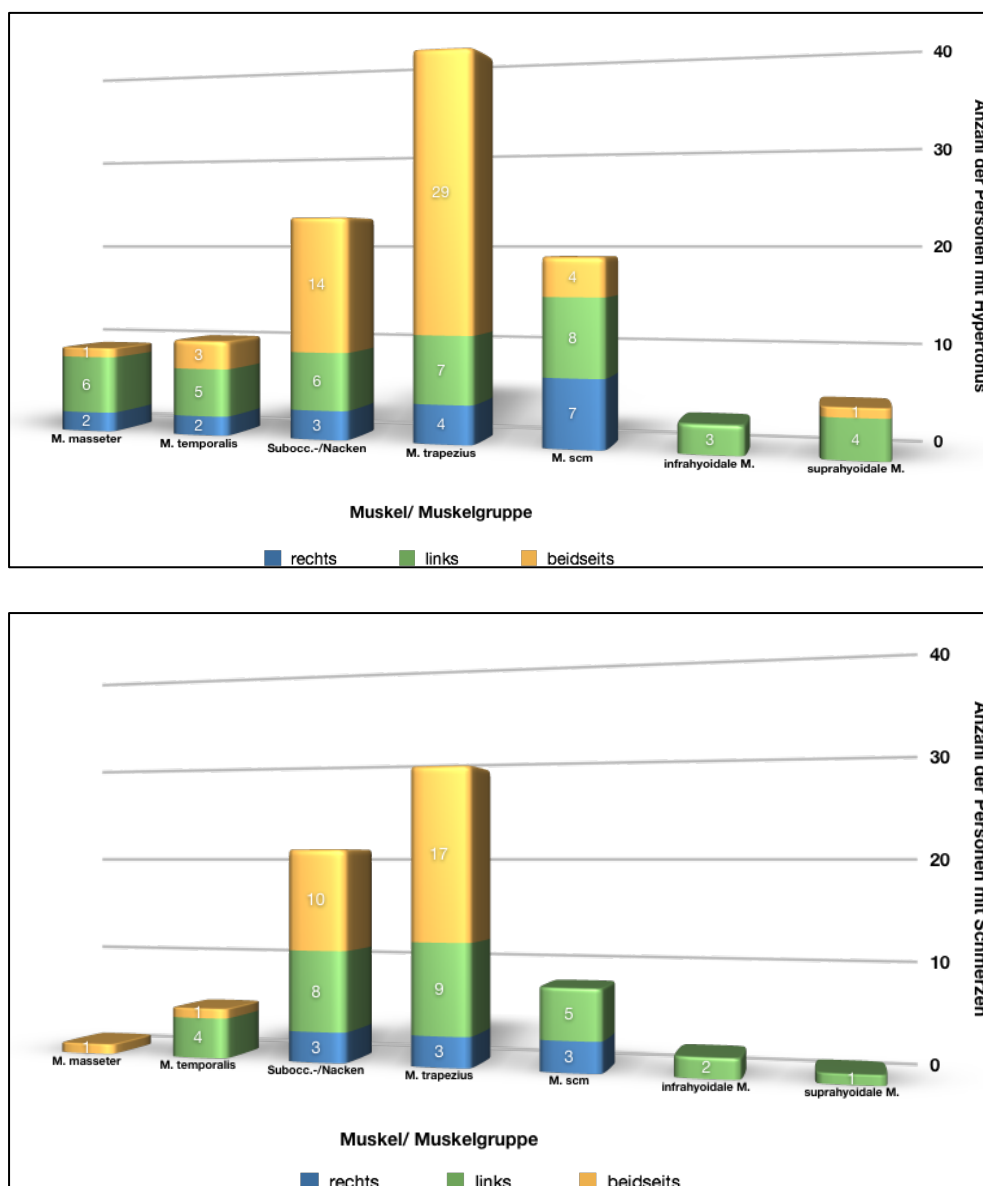


Abb. 14 und 15: Häufigkeiten der Hypertonus- (oben) und der Schmerzzustände (unten) aufgeschlüsselt in Beschwerden rechts, links und beidseits zum Messzeitpunkt T0; n=41

Folgende Tabelle 6 fasst die zu den Zeitpunkten T0 und T4 erhobenen Befunde übersichtlich zusammen:

MUSKULATUR								
HYPERTONUS	T0				T4			
	re.	li.	re. + li.	Σ	re.	li.	re. + li.	Σ
M. masseter	2	6	1	9	2	3	2	7
M. temporalis	2	5	3	10	2	3	1	6
Subocc.-/Nackermuskulatur	3	6	14	23	2	3	9	14*
M. trapezius	4	7	29	40	8	6	21	35*
M. sternocleidomastoideus	7	8	4	19	2	11	1	14*
infrahyoidale M.	0	3	0	3	1	0	0	1
suprahyoidale M.	0	4	1	5	1	3	1	5
SCHMERZ	T0				T4			
	re.	li.	re. + li.	Σ	re.	li.	re. + li.	Σ
M. masseter	0	0	1	1	2	1	0	3
M. temporalis	0	4	1	5	1	2	0	3
Subocc.-/Nackermuskulatur	3	8	10	21	0	4	2	6*
M. trapezius	3	9	17	29	4	10	5	19*
M. sternocleidomastoideus	3	5	0	8	1	3	0	4
infrahyoidale M.	0	2	0	2	1	0	0	1
suprahyoidale M.	0	1	0	1	0	2	0	2

Tab. 6: Häufigkeiten der Hypertonus- und Schmerzzustände (T0 und T4), * Friedman-Test ($p \leq 0,05$);
n=41

Beim M. masseter stellte sich zur Eingangsuntersuchung in neun Fällen ein Hypertonus heraus, dieser trat vermehrt linksseitig auf (sechs Patienten), bei zwei Personen auf der rechten Seite und bei einer Testperson waren beide Mm., rechts und links, hyperton. Schmerzen im Bereich dieses Muskels wurden lediglich einmal beidseitig angegeben.

Ein ähnliches Bild ergab sich für den zweiten untersuchten Kaumuskel, den M. temporalis. Bei insgesamt 10 Getesteten konnte ein muskulärer Hypertonus nachgewiesen werden, dieser zeigte sich wiederum gehäuft mit fünf Betroffenen auf der linken Seite, kontralateral trat in zwei und beidseitig in drei Fällen ein erhöhter Spannungszustand auf. Schmerzen des M. temporalis waren bei fünf Patienten zu erkennen (viermal linksseitig, einmal beidseitig).

Die Subokzipital- und Nackenmuskulatur zeigte sich bei über der Hälfte der Patienten hyperton, 14 Personen wiesen beidseits auffällige Befunde auf, während bei drei

Getesteteten nur rechts- und bei sechs Untersuchten nur linksseitig ein erhöhter Muskeltonus getastet werden konnte. Schmerzhaft fiel diese Muskelgruppe bei rund der Hälfte der Betroffenen auf, auch in diesem Fall gaben die meisten Testpersonen bilaterale Schmerzen an.

Herausragend demonstrierte sich jedoch der Hypertonus des M. trapezius, der bei 40 der 41 in die Studie eingeschlossenen Patienten getastet werden konnte. Auch hier wurde vorwiegend eine seitengleiche Verteilung ermittelt (29 Patienten), vier Personen hatten lediglich rechts und sieben Getestete auf der kontralateralen Seite eine erhöhte Muskelspannung. Annähernd drei Viertel der Testpersonen gaben Schmerzen – bevorzugt bilateral (17 Personen) – an.

Der M. sternocleidomastoideus zeigte bei knapp der Hälfte der Studienteilnehmer Auffälligkeiten, hier traten erhöhte Muskelspannungszustände jedoch meist einseitig mit sieben Betroffenen auf der rechten und acht Betroffenen auf der entgegengesetzten Seite auf. Bei vier Patienten war ein bilateraler Hypertonus des M. sternocleidomastoideus zu diagnostizieren und ein Fünftel der Beteiligten empfanden Schmerzen in dieser Muskelregion. Die supra- und infrahyoidalen Muskeln ließen nur eine geringe Anzahl auffälliger Befunde erkennen.

Zu den Messzeitpunkten T2, d.h. unmittelbar nach Beendigung der fünften Laserintervention, eine Woche nach erfolgter Lasertherapie (T3) und vier Wochen später (T4) sind eine Abnahme der tastbaren Spannungserhöhungen sowie eine vermehrte Schmerzfreiheit im Vergleich zur Baseline-Untersuchung festzustellen. Im Bereich des M. masseter trat eine leichte Verringerung der erhöhten Muskeltonuszustände von neun (T0) bzw. 12 (T1) auf sieben direkt nach Lasertherapie und auf sechs Betroffene eine Woche später (T3) ein, zur abschließenden Untersuchung T4 wurde bei sieben Personen ein Hypertonus des M. masseter palpiert. Schmerzen im Bereich dieses Muskels wurden zu den beiden Zeitpunkten T2 und T3 von keinem Patienten angegeben, vier Wochen nach Beendigung der Intervention waren bei drei Getesteten Schmerzen nachweisbar.

Für den M. temporalis ist eine konstante Abnahme der Hypertonus-Patienten bis hin zur T3 von 10 auf drei Betroffene erkennbar, zur Abschlussuntersuchung T4 stieg diese Zahl wieder leicht auf sechs an. Ein ähnliches Verlaufsmuster ist für die Schmerzangaben dieses Muskels zu erkennen: Es kam zu einem Absinken der schmerzhaften Muskeltastung auf drei Personen (T2) bzw. eine Person (T3) und danach wieder zu einem leichten Anstieg auf drei Angaben.

Im Bereich der Subokzipital-/Nackenmuskulatur ist dieser Verlauf der palpablen muskulären Spannung identisch mit dem vorherigen Muster. Im Vergleich zum Beginn der Studie kam es zu einer geringeren Häufigkeit der Muskelbefunde zum Zeitpunkt T2 und T3. Vier Wochen danach stieg die Zahl wiederum auf 14 Fälle an. Schmerzen gaben anfangs 21 (T0) bzw. 15 Personen (T1) an, die Zahl derjenigen mit Schmerzen sank direkt nach Beendigung der Therapie auf sieben ab und variierte im weiteren Verlauf zwischen sechs und neun Fällen. Sowohl die Hypertonus- als auch die Schmerzreduktion der Subokzipital-/Nackenmuskulatur durch die Lasertherapie (Gesamtlasergruppe) konnten als statistisch relevante Ergebnisse im Verlauf von Aufnahme- hin zu den Follow-up-Untersuchungen nach 4 Wochen eingeordnet werden (Hypertonus: $p=0,023$ / Schmerz: $p\leq 0,000$).

Das gleiche Spannungsmuster wie die Subokzipital-/Nackenmuskulatur stellte sich auch bei dem am häufigsten hyperton getasteten M. trapezius dar: von anfänglich 40 (T0) bzw. 39 (T1) verminderte sich die Anzahl der Betroffenen auf 32 sowohl zum Zeitpunkt T2 als auch T3, danach erfolgte ein leichter Wiederanstieg auf 35 Patienten. Von ursprünglich 29 zur Baseline gaben jeweils 18 Personen Schmerzen bei der Palpation des Muskels zum Zeitpunkt T2 und T3 an, eine Person mehr wurde zur Abschlussuntersuchung gezählt. Auch der M. trapezius wies im Studienverlauf eine höchst signifikante Hypertonus- ($p\leq 0,000$) und Schmerzverminderung ($p\leq 0,000$) durch die Laserintervention auf.

Der M. sternocleidomastoideus zeigte ein etwas abweichendes Bild. Zum Zeitpunkt T2 ergab sich keinerlei Veränderung bezüglich der Hypertonuszustände, die Anzahl blieb konstant bei 19 Getesteten (Vergleich T0: 19, T1: 20), jedoch zu T3 war ein deutlicher Abfall um mehr als die Hälfte auf acht Personen zu verzeichnen, bevor die Zahl der erhöhten Muskelspannungen wieder auf 14 anstieg. Schmerzen im Bereich des M. sternocleidomastoideus konnten zu T2 von acht auf fünf und zu T3 auf zwei Fälle vermindert werden, bevor es zu T4 erneut zu einer leichten Erhöhung auf vier Patienten kam. Dieser Muskel wies mit $p=0,028$ einen statistisch signifikanten Verlauf von T0 zu T4 hinsichtlich der Reduktion der Spannung auf, seitens der Verminderung der Schmerzen ergab sich zwar eine Tendenz, diese konnte jedoch nicht auf Signifikanzniveau nachgewiesen werden ($p=0,157$).

Für die supra- und infrahyoidalen Muskelgruppen ist kein Verlaufsmuster erkennbar, die Anzahl derjenigen mit palpabel erhöhtem Muskelzustand variiert zwischen null (infrahyoidale Muskulatur nach Laserinterventionsbeendigung) und fünf Betroffenen

(suprahyoidale Muskeln zu den Zeitpunkten T0-T2 und T4). Schmerzen im infrahyoidalen Abschnitt nahmen spontan von zwei auf null Patienten ab und blieben auf diesem Niveau bis zur T3, eine Person wies zur T4 Schmerzen in diesem Bereich auf. Die Häufigkeitsänderungen der Hypertonus- und Schmerzzustände im Verlauf der Studie sind in den Abbildungen 16 bis 19 zusammengefasst dargestellt.

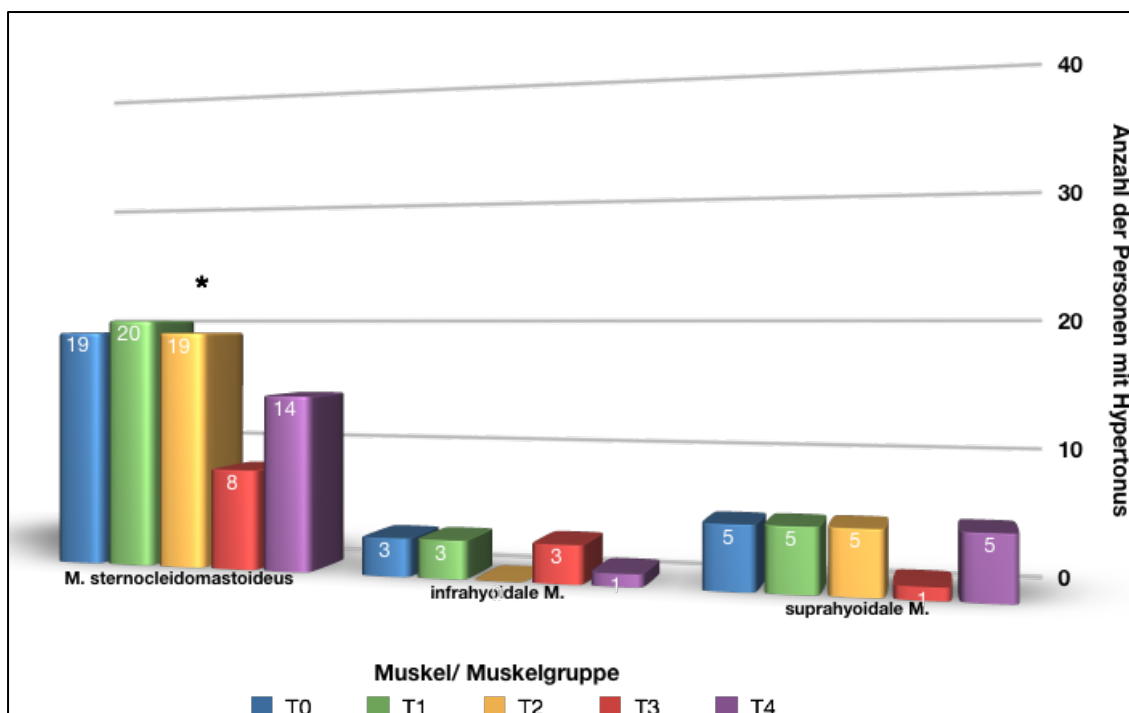
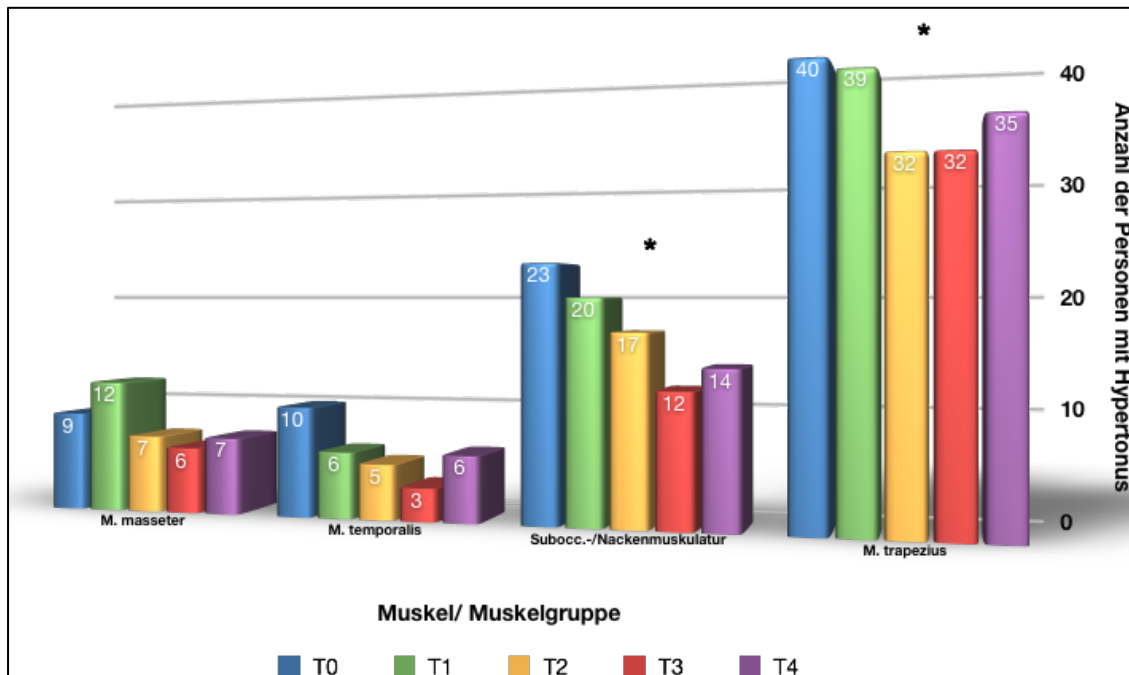


Abb. 16 und 17: Häufigkeiten der Hypertonuszustände der Muskeln (T0-T4), * Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

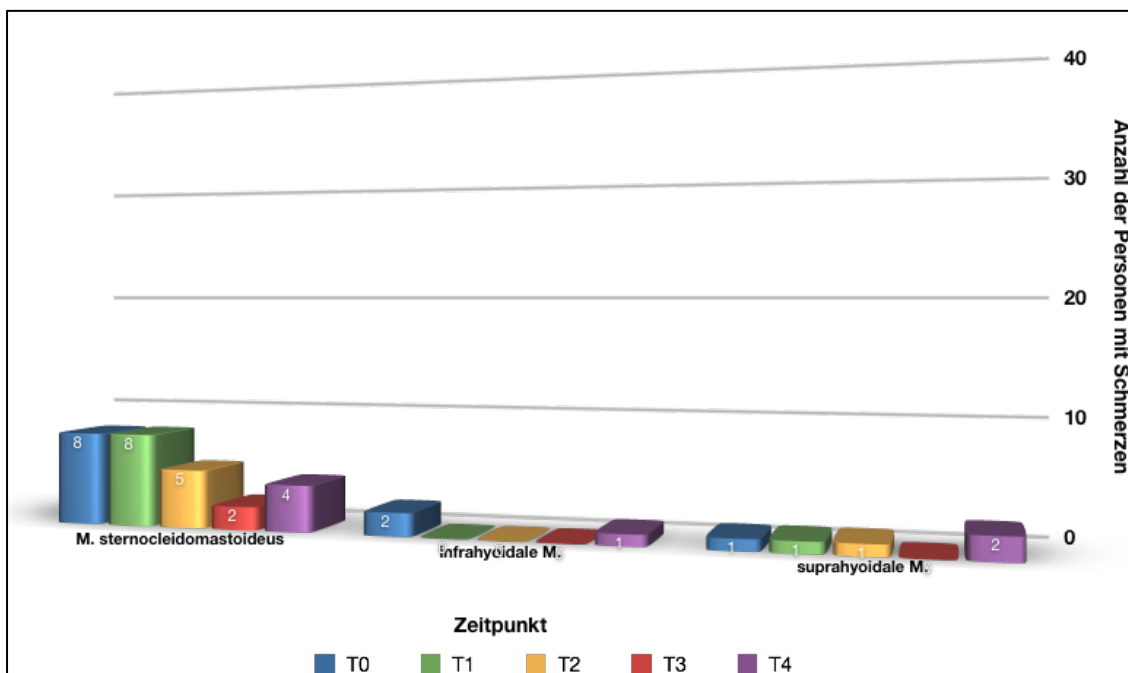
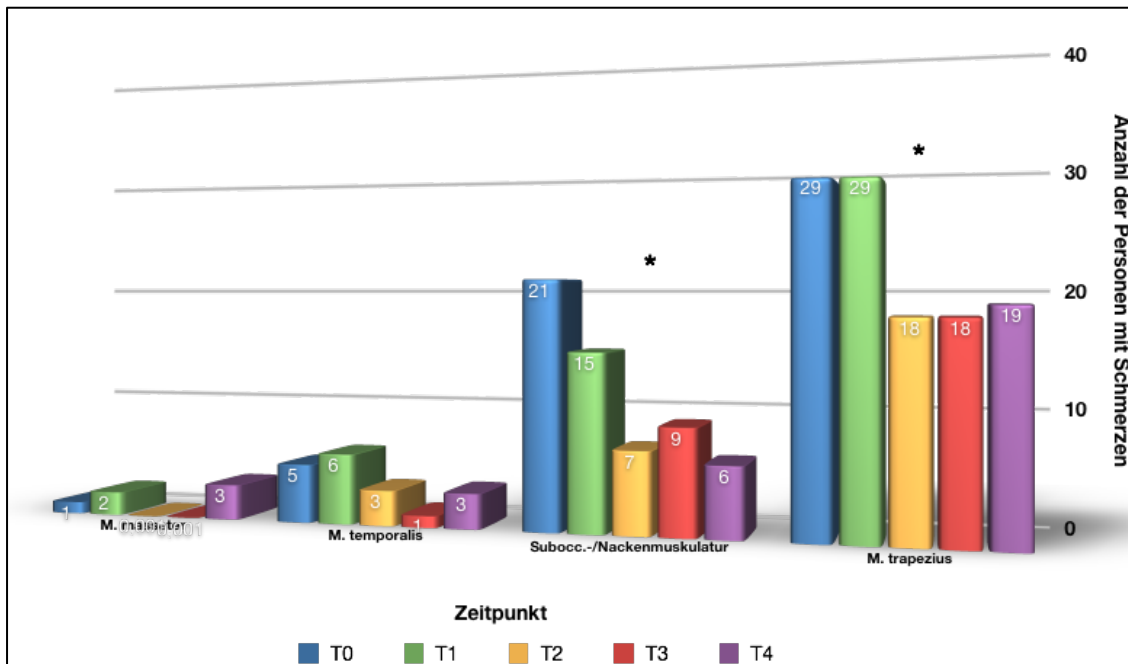


Abb. 18 und 19: Häufigkeiten der Schmerzzustände der Muskeln (T0-T4), * Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

5.1.2 Apparative Untersuchung

5.1.2.1 Tissue Tensiometer (TTM)

Mit dem *Tissue Tensiometer* erfolgte die Messung der Gewebespannung an einem vordefinierten myofaszialen Triggerpunkt TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa). Unser Ziel war es zu verifizieren, ob durch die Lasertherapie die muskuläre Gewebespannung reduziert werden kann.

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Messungen zu den Zeitpunkten T0 bis T4.

TTM (N/mm)										
Median (IQ)	T0	p	T1	p	T2	p	T3	p	T4	T1-T4
M. tra. re.	3,21 (1,07)	0,017	3,45 (0,93)	0,372	3,61 (1,00)	0,166	3,44 (1,14)	0,497	3,33 (1,16)	0,092
M. tra. li.	3,53 (1,10)	0,252	3,33 (1,08)	0,017	3,12 (1,18)	0,116	3,31 (1,07)	0,505	3,25 (1,29)	0,093

Tab. 8: Mediane (IQ) des mittels TTM gemessenen Gewebewiderstandes (T0-T4), Messpunkt: TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa), T1-T4: Friedman-Test ($p \leq 0,05$), p: Wilcoxon-Test ($p \leq 0,05$); n=41

Zur Aufnahmeuntersuchung betrug der Gewebewiderstand des rechten M. trapezius 3,21N/mm und des linken M. trapezius 3,53N/mm. Dieser Widerstand verschlechterte sich rechtsseitig spontan auf 3,45N/mm, auf der kontralateralen Seite zeigte sich eine Verminderung auf 3,33N/mm (T1). Während die Gewebespannung des rechten M. trapezius nach der Laserintervention (T2) zunächst weiterhin anstieg (3,61N/mm), fiel diese anschließend zum Untersuchungszeitpunkt T3 auf 3,44N/mm und danach weiter auf 3,33N/mm ab (T4). Während für die rechte Seite zunächst ein bis zur T2 ansteigender und danach abfallender Verlauf erkennbar war, gestaltete sich die Kurve für die linke Trapeziusseite dem genau entgegengesetzt: Nach Spontanverbesserung zu T1 auf 3,33N/mm (1,08N/mm) und weiterer statistisch signifikanter Abnahme ($p=0,017$) der Gewebespannung nach der Behandlung mit dem Laser auf 3,12N/mm (1,18N/mm) (T2) kam es zu einem allmählichen Anstieg eine Woche nach Laserinterventionsende auf 3,31N/mm (1,07N/mm) und vier Wochen später auf 3,25N/mm (1,29N/mm). Damit befinden sich beide Follow-up-Werte unter dem Ausgangsniveau von T0 bzw. T1. Am Beispiel des in der Abbildung 19 sichtbar gemachten Kurvenverlaufs des M. trapezius rechts wird verdeutlicht, dass es sich hierbei um minimale Änderungen der Gewebespannung handelt. Es ergab sich eine signifikante Verminderung des Gewebewiderstands des M. trapezius links durch Laserintervention ($p=0,017$), gleichzeitig zeigte sich über den gesamten

Studienverlauf hinweg keine signifikante Verbesserung hinsichtlich der Gewebespannung in der Gesamtlaserpopulation (M. trapezius rechts: $p=0,092$, M. trapezius links: $p=0,093$). Beim Vergleich der Mediane fiel auf, dass zum Zeitpunkt T2 ein relevanter Seitenunterschied zwischen rechtem und linkem Trapeziusbauch bestand ($p=0,005$). In der statistischen Testung zeigten sich keine weiteren Seitenunterschiede zwischen rechts und links ab (Abbildung 20).

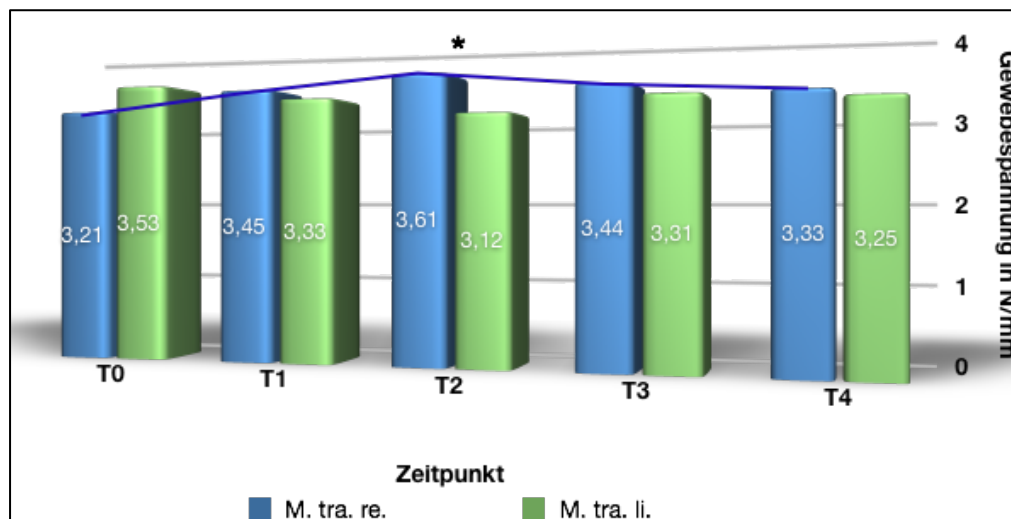


Abb. 20: Mediane des mittels TTM gemessenen Gewebewiderstandes (T0-T4), * Seitenunterschied rechts/links ($p \leq 0,05$) ; $n=41$

5.1.2.2 Pressure Threshold Meter (PTM)

Die Druckalgometrie mit dem *Pressure Threshold Meter* bietet eine unkompliziert durchführbare, standardisierte Möglichkeit der Erfassung der Druckschmerzschwelle und deren Quantifizierung.

PTM (kp/cm ²)										
Median (IQ)	T0	p	T1	p	T2	p	T3	p	T4	T1-T4
M. tra. re.	2,40 (1,10)	0,214	2,00 (1,10)	0,048	2,25 (1,20)	0,264	2,50 (1,40)	0,653	2,45 (1,00)	0,030
M. tra. li.	2,45 (1,10)	0,592	2,25 (1,20)	0,061	2,40 (1,20)	0,530	2,70 (1,20)	0,768	2,65 (1,00)	0,195

Tab. 9: Mediane (IQ) der mittels PTM gemessenen Druckschmerzschwelle (T0-T4), Messpunkt: TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa), T1-T4: Friedman-Test ($p \leq 0,05$), p : Wilcoxon-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

Zu Beginn der Beobachtungen betrug der Schwellenwert des rechten M. trapezius $2,40\text{kp/cm}^2$ und der des linken $2,45\text{kp/cm}^2$. Spontan ergab sich eine leichte Reduktion dieser Schwelle für die rechte ($2,00\text{kp/cm}^2$) und die entgegengesetzte Seite ($2,25\text{kp/cm}^2$). Nach beendeter Lasertherapie stieg dieser Grenzwert auf $2,25\text{kp/cm}^2$ (rechts) und $2,40\text{kp/cm}^2$ (links) an. Auch in der weiteren Nachbeobachtungsphase T3 und T4 war eine erhöhte Druckschmerzschwelle zu erkennen. Zum Zeitpunkt T3 wurde diese bei $2,50\text{kp/cm}^2$ rechtsseitig und $2,70\text{kp/cm}^2$ linksseitig nachgewiesen und zur Abschlussuntersuchung vier Wochen nach Beendigung der Laserintervention lag sie noch immer bei $2,45\text{kp/cm}^2$ auf der rechten und $2,65\text{kp/cm}^2$ auf der linken Seite. Für die druckalgometrische Prüfung des M. trapezius rechts am Triggerpunkt TrP₂ mittels *Pressure Threshold Meter* (PTM) offenbarte sich im Studienverlauf eine relevante Änderung auf Signifikanzniveau. Auch im Rahmen von multiplen Testungen fielen relevante Veränderungen auf (siehe Tabelle 9). Für die linke Seite des M. trapezius konnten keine Abweichungen der Mediane der fünf Messzeitpunkte festgestellt werden.

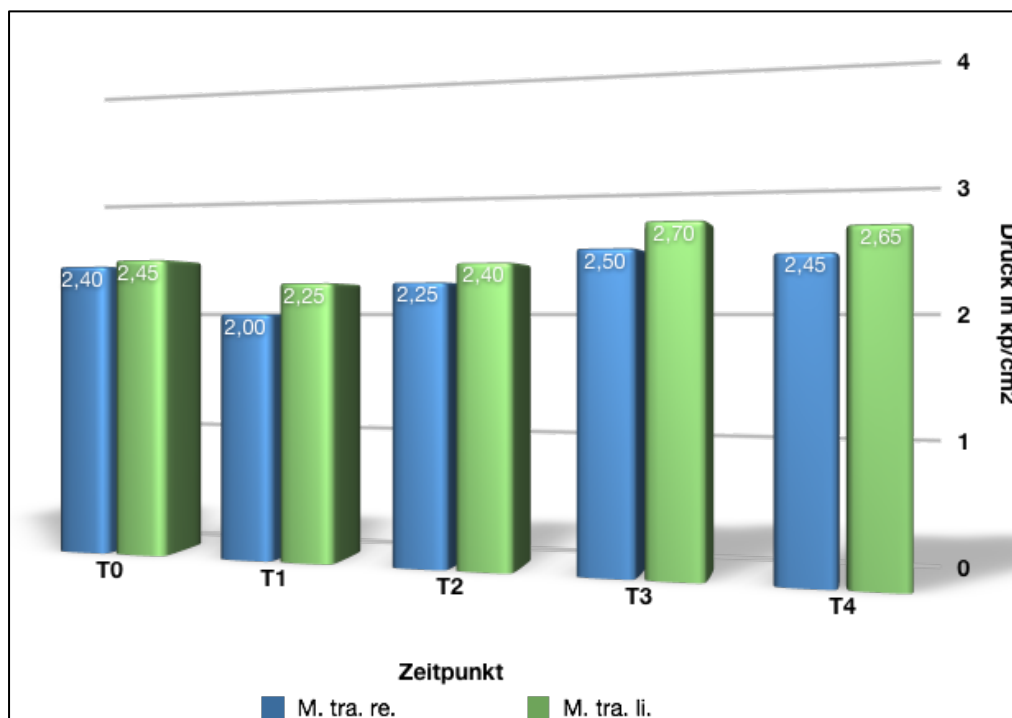


Abb. 21: Mediane der mittels PTM gemessenen Druckschmerzschwelle (T0-T4); n=41

5.1.3 Assessments

5.1.3.1 Short-Form-12 Health Survey (SF-12)

Der körperliche Summenscore (KS), der den allgemeinen Gesundheitszustand und mögliche Einschränkungen durch die Erkrankung im Alltag erfragt, lag zunächst im Median bei 42,68 Skaleneinheiten und damit knapp an der Grenze zum pathologischen Bereich, jedoch noch immer im Normbereich für Gesunde, der sich zwischen 40 und 60 Skalenpunkten befindet.

ASSESSMENTS										
Median (IQ)	T0	p	T1	p	T2	p	T3	p	T4	T1-T4
SF-12 KS	42,68 (15,19)	0,386	43,59 (17,31)	0,561	43,25 (15,44)	0,201	44,39 (16,78)	0,088	45,13 (15,08)	0,003
SF-12 PS	51,75 (14,25)	0,492	53,18 (12,66)	0,300	54,19 (8,56)	0,555	54,07 (9,15)	0,893	55,38 (9,99)	0,119
NDI	12,0 (10,0)	0,343	11,0 (13,0)	0,007	9,0 (9,0)	0,015	9,0 (11,0)	0,508	9,5 (9,0)	0,000

Tab. 10: Mediane (IQ) der Punkteskalen des SF-12 und NDI (T0-T4), T1-T4: Friedman-Test ($p \leq 0,05$), p: Wilcoxon-Test ($p \leq 0,05$); n=41 (p-Werte mit 0,000 gekennzeichnet sind streng genommen nicht gleich null, sondern $p \leq 0,001$)

Eine Spontanverbesserung um knapp einen Punkt auf 43,59 Punkte zeichnete sich während der Baseline-Phase ab. Im Folgenden war bis auf einen Rückgang zum Zeitpunkt T2 auf 43,25 ein stetiger Aufwärtstrend der erhobenen Werte hin zum durchschnittlich guten, bei 50 Skalenpunkten liegenden Wohlbefinden erkennbar. Schlussendlich erreichte der SF-12 einen Score von 45,13 Punkten zum Zeitpunkt T4. Damit verbesserte sich der KS vom grenzwertig pathologischen hin zum sicheren gesunden Bereich. Für den psychischen Summenscore lassen sich ähnliche Schlüsse ziehen. Auch hier zeigte sich eine spontane Verbesserung der Werte zur T1-Untersuchung von 51,75 auf 53,18 Skalenpunkte. Danach war ein stetiger Trend zu aufsteigenden Werten ersichtlich, lediglich ein leichtes Plateau zeichnete sich zwischen T2 und T3 bei über 54 Skaleneinheiten ab. Im Vergleich zur physischen Komponente lag jedoch der Ausgangswert hier bereits über neun Punkte höher, sodass im Endeffekt Summenscores von 55,38 Punkten zum Zeitpunkt T4 zustande kamen, was nach Bullinger et al. ein durchschnittlich gutes psychisches Wohlbefinden der Patienten bedeutet (Bullinger et al. 1995). Tabelle 10 fasst alle genannten Ergebnisse zusammen. Der mithilfe des Fragebogens SF-12 ermittelte körperliche Summenscore (KS) wies in der Trendanalyse eine signifikante

Messwerterhöhung ($p=0,003$) auf. Dementgegen konnte beim psychischen Summenscore (PS) keine relevante Verbesserung festgestellt werden ($p=0,119$).

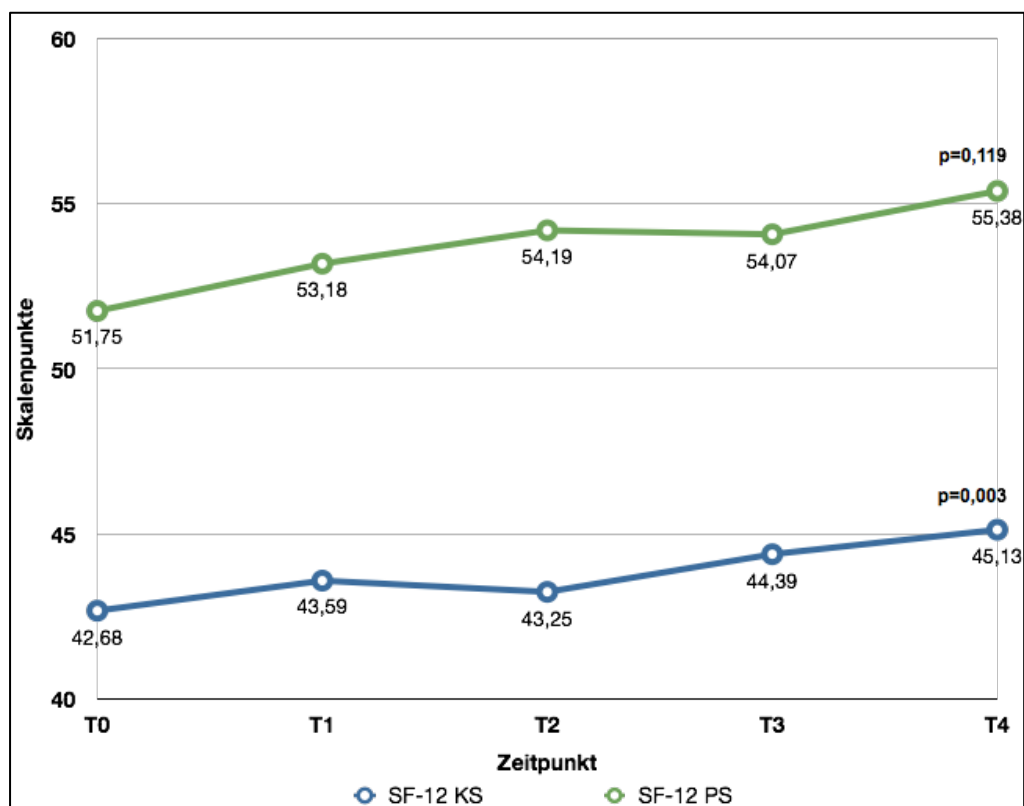


Abb. 22: Mediane der Punkteskalen des SF-12-Fragebogens (T0-T4), p : Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

5.1.3.2 Neck Disability Index (NDI)

Der Neck Disability Index ist ein für die HWS-Region spezifisches Instrument, das Beeinträchtigungen in diesem Wirbelsäulensegment abschätzt. Die Nackenschmerzpatienten beurteilten ihre Erschwernisse im alltäglichen Leben zu Beginn der Studie mit 12,0 von möglichen 50 Punkten (schlechtester Zustand). Wie schon zuvor beim SF-12 Fragebogen war auch hier eine Spontanverbesserung auf 11,0 Punkte zu verzeichnen. Ebenso zeigte sich eine Steigerung des gesundheitlichen Wohlbefindens, gemessen an HWS-Störungen, die in diesem Fall an sinkenden Werten des NDI-Indexes zu erkennen sind. Der NDI-Punktwert nahm stetig ab auf 9,0 (T2)/9,0 (T3) und erreichte letztendlich 9,5 Punkte zum abschließenden Kontrollzeitpunkt T4 (Tabelle 10). Die Trendanalyse erwies sich als statistisch signifikant, sodass von einer Verbesserung der nackenspezifischen Lebensqualität ausgegangen werden kann.

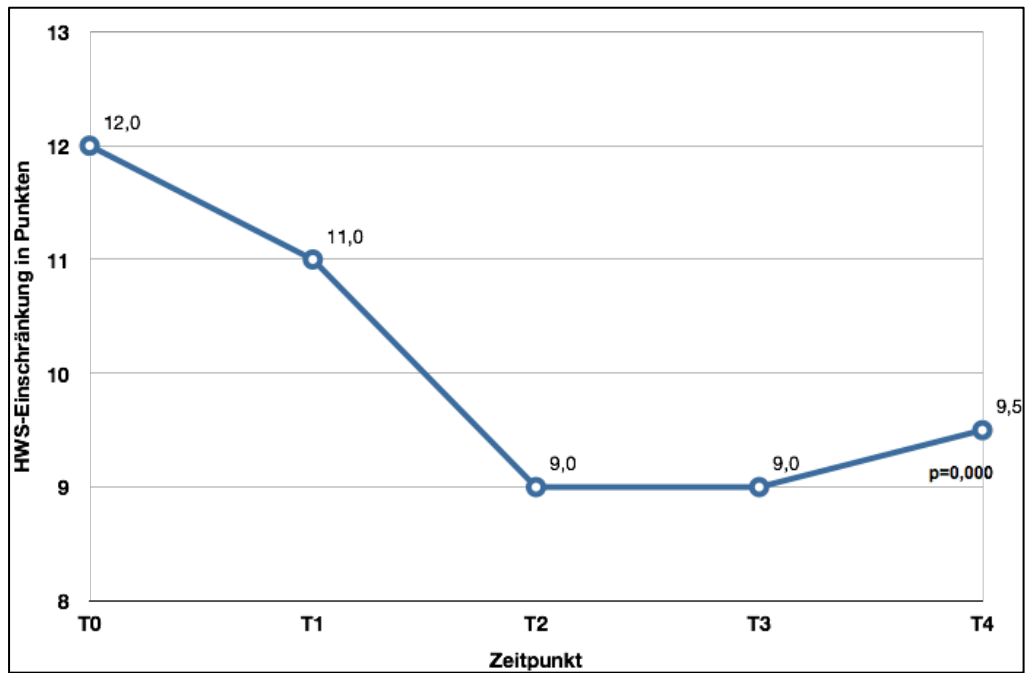


Abb. 23: Mediane der Punkteskalen des NDI (T0-T4), p : Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$ (p -Werte mit 0,000 gekennzeichnet sind streng genommen nicht gleich null, sondern $p \leq 0,001$)

5.2 Vergleich von Low- (LLL)- und High-Level-Laser (HLL)-Gruppe

5.2.1 Klinische Untersuchung

5.2.1.1 Allgemeine Statik

Unter den mit Hardlaser behandelten 20 Patienten zeigten sich zur Baseline-Untersuchung (T0) ein oberes gekreuztes Syndrom bei sieben und ein unteres gekreuztes Syndrom bei acht Personen. Davon wiesen zwei sowohl das ogS als auch das ugS auf. Demgegenüber wurden in der Softlasergruppe, die aus 21 untersuchten Personen bestand, ein ogS in sechs und ein ugS in fünf Fällen diagnostiziert. Darunter war ein Getesteter, der sowohl ein ogS als auch ein ugS hatte. Zur abschließenden Kontrolle von Behandlungseffekten vier Wochen nach Laserintervention (T4) sank die Anzahl der Betroffenen in der High-Level-Laser-Gruppe auf drei mit oberem und sechs mit unterem gekreuzten Syndrom ab, in der Low-Level-Laser-Gruppe auf jeweils zwei Patienten pro Test.

In der mit Hardlaser behandelten Gruppe ergab sich eine statistisch relevante Verbesserung des ogS von sieben zur Aufnahme- (T0) auf drei Personen zur Abschlussuntersuchung (T4) mit $p=0,031$. Ein angeschlossener Test mittels Mann-Whitney-U zum direkten Vergleich zwischen Hard- und Softlaserpopulation hinsichtlich des ogS erbrachte keine statistische Signifikanz ($p=0,713$), sodass zwar im Verlauf durch den HLL eine relevante Reduktion der oberen gekreuzten Syndrome erkennbar ist, man aber nicht davon sprechen kann, dass der Hardlaser hinsichtlich der Verminderung von ogS signifikant besser ist als der Softlaser.

Ein Schulterhochstand wurde zum Aufnahmezeitpunkt T0 bei mehr als drei Viertel der mit Hardlaser therapierten Patienten (16 Fälle) nachgewiesen, und zwar bei sieben rechts- und bei neun linksseitig. Bei fünf Untersuchten zeigte sich ein verstrichenes Taillendreieck auf der rechten und in vier Fällen auf der linken Seite. Zusätzlich trat bei einer weiteren Person ein verstrichenes Taillendreieck beidseits auf, sodass sich in dieser Behandlungsgruppe bei insgesamt 10 Patienten ein Hinweis auf eine seitliche Wirbelsäulenabweichung abzeichnete. Außerdem wiesen zur T0 sieben Getestete, drei rechts- und vier linksseitig, einen Beckenhochstand und insgesamt sechs Personen eine skoliotische Verbiegung auf.

Betrachtet man die Softlaserpopulation, so zeichnete sich hier ein Schulterhochstand zur Baseline-Phase bei mehr als der Hälfte der Getesteten mit 13 Betroffenen ab (siebenmal rechts- und sechsmal linksseitig). Ein verstrichenes Taillendreieck fiel bei

neun Untersuchten auf. Des Weiteren konnte zur T0 bei acht Testpersonen, darunter sechs rechts- und zwei linksseitig, ein Beckenhochstand und bei insgesamt vier Personen eine echte oder funktionelle Skoliose (jeweils zwei Personen pro Seite) nachgewiesen werden. Wie in Tabelle 11 zu erkennen ist, lassen alle oben aufgeführten Parameter eine Tendenz zur Verbesserung von der Aufnahme- bis zur abschließenden Nachuntersuchung T4 erkennen; bis auf die bereits genannte signifikante Verminderung des ogS in der Hardlaserpopulation fanden sich jedoch keine statistisch relevanten Daten (Tabelle 11).

ALLGEMEINE STATIK- VERGLEICH HLLT UND LLLT										
		T0			T1	T2	T3	T4		
		re.	li.	Σ	Σ	Σ	Σ	re.	li.	Σ
ogS	HLLT				7					3*
	LLLT				6					2
ugS	HLLT				8					6
	LLLT				5					2
Schulterhochstand	HLLT	7	9	16	16	12	8	5	7	12
	LLLT	7	6	13	10	12	13	5	4	9
Taillendreieck verstrichen	HLLT	5	4	10'	9'	5'	8'	4	1	7'
	LLLT	3	6	9	9	7	7	2	4	6
Beckenhochstand	HLLT	3	4	7	11	8	5	3	1	4
	LLLT	6	2	8	5	4	5	6	0	6
Skoliose	HLLT	3	3	6	3	2	3	3	0	3
	LLLT	2	2	4	5	4	0	0	3	3

Tab. 11: Häufigkeiten der klinischen Funktionsstörungen (T0-T4) differenziert in LLLT (n=21) und HLLT (n=20), * Friedman-Test ($p \leq 0,05$); n=41 (' jeweils bei einem Patienten zusätzlich ein verstrichenes Taillendreieck auf beiden Seiten)

Für das Schober-Maß wurde im Fall der HLL-Gruppe eine durchschnittliche Differenz zwischen maximaler Wirbelsäulenflexion und -extension von 7,0cm ermittelt. Als weiterer Wert zur Beurteilung der Wirbelsäulenbeweglichkeit dient der Finger-Boden-Abstand, der zur Eingangsuntersuchung im Median bei 0,0cm lag. Die Differenz zwischen Flexion und Retroflexion der HWS (Kinn-Jugulum-Abstand) wies einen Zentralwert von 19,0cm auf. Die Gesamtbeweglichkeit der HWS (ROM) bei der Rotationsbewegung wurde mit 155° gemessen. Die Softlasergruppe zeigte ein durchschnittliches Schober-Maß von 6,5cm und kam somit dem Median der HLL-Population sehr nahe. Der FBA betrug zur Eingangsuntersuchung im Schnitt 2,0cm. Der hohe Quartilsabstand deutet hier, im Gegensatz zur HLL-Einheit, auf eine große Streuung der Werte hin, ebenso fiel eine Abweichung des Medians zur

Hardlasergruppe um 3,0cm auf. Der KJA betrug in der LLL-Fraktion zur Eingangsuntersuchung 18,0cm und die Gesamtbeweglichkeit der HWS (ROM) bei der Rotationsbewegung lag bei 130°. Auch hier fällt ein Unterschied in der Rotationsfähigkeit der HWS von 15° zwischen Soft- und Hardlasergruppe auf.

ALLGEMEINE BEWEGUNGSMAßE- VERGLEICH HLLT UND LLLT							
Median (IQ)		T0	T1	T2	T3	T4	T1-T4
Maß nach Schober (cm)	HLLT	7,0 (2,0)	7,0 (1,5)	8,0 (4,0)	7,5 (2,0)	7,0 (2,5)	0,444
	LLLT	6,5 (1,5)	6,5 (2,8)	7,0 (2,0)	7,0 (3,0)	7,0 (3,3)	0,210
FBA (cm)	HLLT	0,0 (3,0)	0,0 (0,0)	0,0 (5,0)	0,0 (0,0)	0,0 (3,0)	0,916
	LLLT	2,0 (16,5)	0,0 (15,0)	0,0 (17,0)	0,0 (15,0)	0,0 (15,0)	0,406
KJA (cm)	HLLT	19,0 (4,0)	18,0 (4,0)	19,0 (4,0)	18,0 (3,5)	18,0 (4,5)	0,545
	LLLT	18,0 (4,5)	17,0 (3,5)	18,0 (4,0)	18,0 (3,5)	17,0 (4,3)	0,284
		ROM	ROM	ROM	ROM	ROM	
HWS-Rotation (°)	HLLT	155 (30)	145 (25)	155 (15)	170 (30)	160 (20)	0,007
	LLLT	130 (38)	140 (53)	140 (30)	150 (25)	140 (38)	0,831

Tab.12: Mediane (IQ) der allgemeinen Bewegungsausmaße (T0-T4) differenziert in LLLT (n=21) und HLLT (n=20), T1-T4: Friedman-Test ($p \leq 0,05$), FBA: Finger-Boden-Abstand, KJA: Kinn-Jugulum-Abstand, ROM: Range of Motion; n=41

Von Interesse war, ob es signifikante Abweichungen zwischen den Lasergruppen gab. Die Mediane der HWS-Rotationsfähigkeit der LLL- und der HLL-Stichprobe unterschieden sich signifikant voneinander zu den Zeitpunkten T0 ($p=0,040$), T3 ($p=0,008$) und T4 ($p=0,012$). Die Gruppen waren damit im Vergleich zueinander zu Beginn der Untersuchungen hinsichtlich der medianen HWS-Beweglichkeit heterogen, glichen sich jedoch zu den Zeitpunkten T1 und T2 an, sodass dann kein Gruppenunterschied bestand. Bei der HLLT-Gruppe zeigte sich im Folgenden eine relevante Verbesserung der HWS-Beweglichkeit und dadurch ein signifikanter Unterschied zur Low-Level-Laserinterventionsgruppe, der graphisch anhand der Sternchen (*) in Abbildung 24 veranschaulicht ist. Sowohl in der LLL- als auch in der HLL-Gruppe konnte für die allgemeinen Bewegungsausmaße Schober, FBA und KJA kein Verlaufstrend festgestellt werden, alle Tests auf Signifikanz blieben über dem geforderten Niveau von $p \leq 0,05$. In der Softlasertherapieeinheit blieb die HWS-Rotationsbeweglichkeit in alle Richtungen ohne relevante Veränderungen, während in der Hardlasergruppe bei der Zusammenfassung der HWS-Rotationsbeweglichkeit im *Range of Motion* ein p-Wert von 0,007 nachgewiesen wurde.

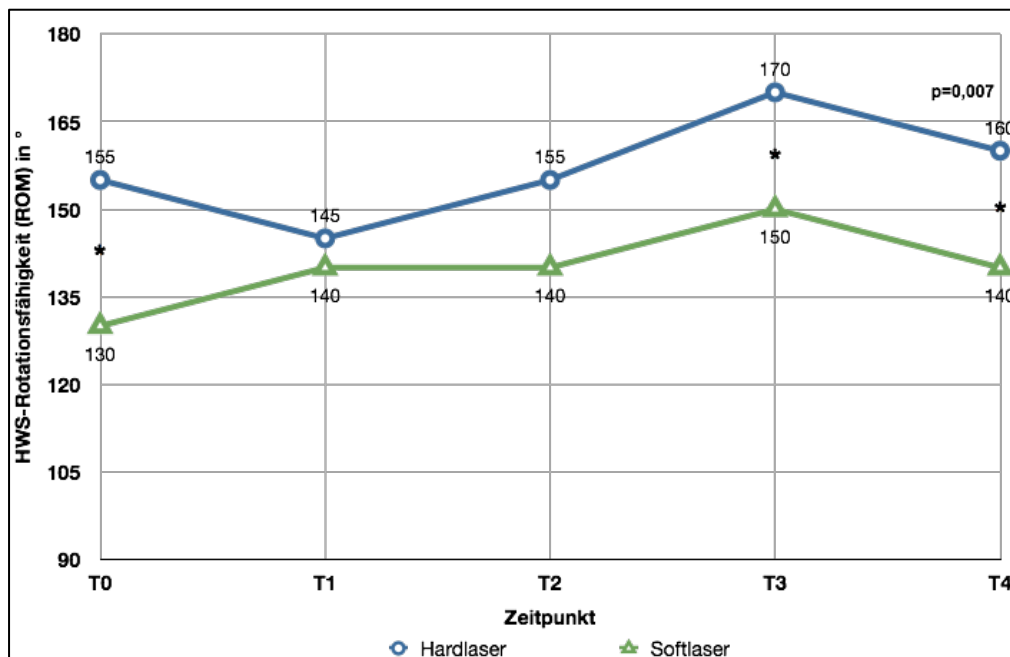


Abb. 24: Mediane des HWS- Rotationsausmaßes (ROM) differenziert in HLL- und LLL-Gruppe (T0-T4), * Mann-Whitney-U-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

5.2.1.2 Bewegungsfunktionsstörungen der Wirbelsäule

Wie bei chronischen Nackenschmerzpatienten zu erwarten, zeichnete sich in beiden Gruppen (LLLT und HLLT) zur Aufnahmeuntersuchung T0 eine hohe Anzahl von Personen mit Funktionseinschränkungen und Schmerzen im Halswirbelsäulenabschnitt ab (Tabelle 13). In der mit Hardlaser therapierten Population stellte sich die Lateralflexion als schmerzhafte und/oder eingeschränkte Bewegung heraus mit sieben rechtsseitig und acht linksseitig Betroffenen. Dabei trat am häufigsten eine Kombination aus Funktionsstörung und Schmerzen auf (acht Fälle rechts und links zusammen). Auch die rotatorischen Bewegungen des Kopfes nach rechts und links sorgten für Funktionseinschränkungen und Schmerzen bei insgesamt sechs Personen zu jeder Seite. Die Extension des Kopfes zeigte bei zwei Personen eine Funktionsstörung, eine Person gab Schmerzen dabei an und bei zwei weiteren Patienten trat die Kombination aus beiden eben genannten Symptomen auf, sodass insgesamt fünf Personen Probleme mit dieser Bewegung aufwiesen. Die Flexion war lediglich bei einem Getesteten auffällig in Funktion und Schmerz.

BEWEGUNGSFUNKTIONSTÖRUNGEN DER WIRBELSÄULE- VERGLEICH HLLT UND LLLT									
T0	HWS		BWS		LWS		ISG		
	HLLT	LLLT	HLLT	LLLT	HLLT	LLLT		HLLT	LLLT
Flexion	1	2	2	3	2	4	Vorlauf Anfang	9	4
Extension	5	6	2	9	1	5	Vorlauf Ende	0	2
Lateralflexion rechts	7	10	1	6	0	7	Schmerz	1	4
Lateralflexion links	8	12	1	2	0	7	FS	3	4
Rotation rechts	6	8	2	5	1	0			
Rotation links	6	8	4	4	0	0			
T4	HWS		BWS		LWS		ISG		
	HLLT	LLLT	HLLT	LLLT	HLLT	LLLT		HLLT	LLLT
Flexion	3	7	0	4	1	3	Vorlauf Anfang	3	3
Extension	1	4	5	4	0	4	Vorlauf Ende	1	1
Lateralflexion rechts	1	7	0	2	0	1	Schmerz	1	1
Lateralflexion links	1	5	2	1	0	1	FS	2	1*
Rotation rechts	2	8	1	1	0	0			
Rotation links	2	6	1	1	0	0			

Tab. 13: Häufigkeiten der Bewegungsfunktionsstörungen BWS, LWS und ISG (T0-T4) differenziert in LLLT (n=21) und HLLT (n=20), * Friedman-Test ($p \leq 0,05$), FS: Funktionsstörung; S: Schmerz; n=41

In der Folgezeit nahm die Zahl derer mit Funktionseinschränkungen und Schmerzen bei Bewegungen der HWS deutlich ab. Zur T2, direkt nach Hardlasertherapieende, gaben noch insgesamt sechs der ursprünglich 15 (T0) bzw. 16 (T1) Betroffenen Schwierigkeiten bei der Lateralflexion nach rechts oder links an, diese Anzahl sank bis zum Follow-up nach vier Wochen bis auf eine betroffene Person je Seite ab. Bei der Rotation in beide Richtungen wurden am Ende vier der ursprünglich 12 Patienten auffällig getestet und bei der Extension gab es noch eine Person, die eine Kombination aus Funktionsstörung und Schmerzen erkennen ließ. Die Zahl derjenigen, die Probleme bei der Flexion aufwiesen, fiel zunächst nach der T1 (vier Betroffene) auf zwei Getestete zur T2 und T3 ab, bevor sie zur abschließenden Untersuchung wieder um eine betroffene Person anstieg.

In globaler Betrachtung wurde in der Interventionsgruppe mit HILT eine signifikante Schmerzreduktion bei gleichzeitiger Minderung der Funktionsstörung in der Lateralflexion nach rechts sichtbar ($p=0,012$) und eine singuläre Schmerzverminderung bei der Lateralflexion nach links auf Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$.

Für den Bereich der BWS und LWS wurde zum Untersuchungspunkt T0 ein inhomogenes Bild an Störungen der Bewegungsfunktion ermittelt. Diese traten weniger häufig auf als im HWS-Abschnitt. Jeweils zwei Patienten hatten bei Flexion und Extension der BWS Funktionseinschränkungen oder Schmerzen und jeweils eine Person bei der Lateralflexion nach rechts oder links. Zwei Personen gaben Schmerzen

bei der Rotation der BWS nach rechts an und vier Getestete wiesen Probleme mit der Rotationsbewegung nach links auf. Zur abschließenden Kontrolluntersuchung T4 zeigten noch neun der 12 betroffenen Personen Auffälligkeiten in der Extension (fünf Fälle), der Lateralflexion nach links (zwei Betroffene) und der Rotation nach rechts und links (jeweils eine Person). Im LWS-Abschnitt nahm die Gesamtzahl von Störungen der Wirbelsäulenfunktion noch einmal ab, hier beschränkten sich die Probleme auf Flexion (zwei Patienten), Extension (eine Person) und Rotation (eine Person) zum Zeitpunkt T0. Zur T4 bot sich nur einmal eine Kombination aus Funktionseinschränkung und Schmerzen in Flexionsbewegung. Das Iliosakralgelenk fiel bei neun der 20 Hardlaserpatienten zu Beginn der Studie mit dem Vorlaufphänomen am Anfang auf, dazu traten bei einem Patienten Schmerzen und bei drei Personen Funktionsstörungen in diesem Gelenk auf. Bei der T4 fiel noch bei drei der ursprünglich neun Patienten ein Vorlaufphänomen am Anfang auf, hinzu kam eine Person mit einem Vorlaufphänomen am Ende und eine gab weiterhin Schmerzen an. Die Zahl derer mit Funktionsstörungen verminderte sich von drei auf zwei Betroffene. Im Bereich der BWS und LWS war keine statistisch signifikante Reduktion der Schmerzen und/oder Funktionsstörungen zu erkennen.

Ein grundsätzliches Problem in der statistischen Betrachtung stellt die Zuordnung der Patienten dar, denn aus der absoluten Anzahl der Patienten mit Beschwerden lässt sich nicht beantworten, ob es sich um dieselben Personen handelt, die zuvor das jeweilige Beschwerdebild aufwiesen.

In der Softlasergruppe stellte sich die Lateralflexion des Kopfes als schmerzvolle und/oder eingeschränkte Bewegung mit mehr als der Hälfte aller Betroffenen in dieser Gruppe dar (rechts 10 und links 12 Patienten, dabei am häufigsten Kombination aus Funktionsstörung und Schmerzen). Auch die rotatorischen Bewegungen des Kopfes nach rechts und links sorgten bei jeweils acht Personen für erhebliche Funktionseinschränkungen und Schmerzen zu. Flexionsprobleme traten bei zwei und Extensionseinschränkungen bei sechs Getesteten auf. In der Baseline-Periode ergaben sich wiederum nur geringe Veränderungen. Entgegen der HLLT-Gruppe zeigten sich in der Softlaserpopulation unwesentliche bis keine Verbesserungen der Bewegungsfunktionsstörungen. Die Funktionseinschränkungen und Schmerzen in Rotation hielten in etwa bei sechs Betroffenen pro Seite (T2) an, zum Ende hin stieg die Anzahl bei der Rotation nach rechts auf acht, links blieb es bei sechs (T4). Die Zahl der Lateralflexionsstörungen nahm deutlich auf acht von ursprünglich 22 (T0) bzw. 20 (T1)

Personen ab, erhöhte sich dann wieder auf neun zur T3 und 12 Patienten zum Follow-up nach vier Wochen. Dabei konnte die Reduktion von Funktionsstörungen in Kombination mit Schmerzen für die linke Lateralflexion mit $p=0,008$ nachgewiesen werden. Einschränkungen bei der Flexions- und Extensionsbewegung der HWS schwankten stark zwischen zwei (T0) und sieben (T4) Betroffenen bei der Flexion und null (T3) und sechs (T0) Getesteten bei der Extension.

Wie Tabelle 13 zu entnehmen ist, konnten für den Bereich der BWS vor allem bei der Extensionsbewegung Störungen der Bewegungsfunktion bzw. in Kombination mit Schmerzen (insgesamt neun Betroffene) ermittelt werden. Auch hier bot sich ein breites Bild von Funktionsstörungen, die gehäuft bei Rotations- (neun) und Lateralflexionsbewegungen (acht Personen) auftraten. Diese nahmen zum Studienende hin (T4) auf zwei Betroffene in der Rotation und drei in der Lateralflexion ab. Während sich die Anzahl von Extensionseinschränkungen der BWS von neun auf vier über die Hälfte verminderte, fielen hinsichtlich der Flexionsstörungen kaum Häufigkeitsänderungen auf. Im LWS-Abschnitt verringerte sich die Gesamtzahl an Störungen der Wirbelsäulenfunktion ein weiteres Mal, hier beschränkten sich die Probleme auf Lateralflexion mit jeweils sieben Betroffenen pro Seite und Flexions- (vier) sowie Extensionsbewegung (fünf Patienten). In beiden Fällen sank die Zahl der Störungen. Das Iliosakralgelenk fiel bei vier Personen mit dem Vorlaufphänomen am Anfang und bei zwei Personen am Ende auf, dazu zeigten sich weiterhin bei jeweils vier Patienten Schmerzen und Funktionsstörungen in diesem Gelenk. Hier fiel ebenfalls eine Besserung der ISG-Beschwerden im Studienverlauf auf drei Patienten mit einem Vorlaufphänomen am Anfang und einen Patienten am Ende zur T4 auf. Bei jeweils einer Person wurden Funktionsstörungen oder Schmerzen in diesem Gelenk bestätigt. Auch in der Softlasergruppe konnte im Bereich der BWS und LWS keine statistisch signifikante Reduktion der Schmerzen und/oder Funktionsstörungen nachgewiesen werden.

5.2.1.3 Visuelle Analogskala (VAS)

In der mit High-Level-Laser behandelten Gruppe konnten zu Beginn der Studie Schmerzen in der zervikokraniellen Region in Höhe von 40 Skalenpunkten ermittelt werden. Global wurde der Schmerz auf 20 Punkte auf der *Visuellen Analogskala* eingeschätzt. Im Verlauf der weiteren Beobachtungsperiode blieb der regionale

Schmerz zunächst während der Baseline bei 40 Punkten, bevor er nach beendeter Lasertherapie um die Hälfte auf 20 und eine Woche nach Vollendung der Hardlaserintervention weiter auf 10 abfiel und danach zur T4 wieder auf 30 Skalenpunkte anstieg.

Ein solcher Trend ist für das globale Schmerzgeschehen nicht zu erkennen. Hier ergab sich zunächst eine spontane Verschlechterung auf 30 Punkte auf der VAS, worauf eine weitere Erhöhung um 10 Skalenpunkte auf 40 zur Untersuchung direkt nach Lasertherapieende (T2) folgte. Anschließend nahm die Schmerzintensität auf 10 zur T3 und 20 Punkte zur Abschlussuntersuchung vier Wochen nach vollendeter HLLT ab (siehe Tabelle 14).

VISUELLE ANALOGSKALA- VERGLEICH HLLT UND LLLT							
Median (IQ)		T0	T1	T2	T3	T4	T1-T4
VAS regional	HLLT	40 (40)	40 (35)	20 (20)	10 (40)	30 (30)	0,009
	LLL	50 (20)	40 (50)	40 (35)	30 (20)	30 (40)	0,012
VAS global	HLLT	20 (35)	30 (50)	40 (30)	10 (20)	20 (50)	0,055
	LLL	20 (30)	20 (40)	20 (25)	20 (40)	10 (45)	0,227

Tab. 14: Mediane (IQ) der Visuellen Analogskala (VAS) differenziert in LLLT (n=21) und HLLT (n=20), T1-T4: Friedman-Test ($p \leq 0,05$); n=41

Zu Beginn der Studie zeigte sich bei den Patienten, die nachfolgend mit Low-Level-Laser behandelt wurden, ein Schmerz in der Regio nuchae von 50 Punkten. Global wurde der Schmerz mit 20 Einheiten auf der *Visuellen Analogskala* angegeben. Danach fiel der regionale Schmerz zunächst ohne Intervention auf 40 ab und blieb nach beendeter Lasertherapie konstant bei 40, bevor er zum Zeitpunkt T3 ein weiteres Mal deutlich auf 30 Punkte sank und auch nach vierwöchiger Beobachtungsphase auf diesem letztendlich erreichten Plateau verblieb (30 Skalenpunkte). Der Verlauf der globalen Schmerzsymptomatik wies bis zum Nachkontrollpunkt eine Woche nach Interventionsende (T3) eine konstante Intensität von 20 Punkten mit schwankenden Interquartilsabständen auf, ehe sich zum abschließenden Kontrollpunkt T4 ein Wert von 10 Skaleneinheiten einstellte. Bei der Trendanalyse fiel sowohl bei den mit Soft- als auch bei den mit Hardlaser therapierten Patienten auf der regionalen *Visuellen Analogskala*, die Schmerzen im Nackenbereich untersuchte, eine signifikante Schmerzabnahme auf (LLL: $p=0,012$, HLL: $p=0,009$). Unterdessen blieb die globale VAS bei beiden Interventionsgruppen ohne statistisch relevante Veränderungen (LLL: $p=0,227$, HLL: $p=0,055$).

Zur Veranschaulichung wurde in der unten folgenden Abbildung 25 lediglich die in der zentralen Tendenz signifikant verlaufende Kurve der regionalen *Visuellen Analogskala* abgebildet. Aus den medianen Daten zu den Zeitpunkten T2 und T3 wird ersichtlich, dass ein Trend zum statistisch relevanten Gruppenunterschied zwischen Soft- und Hardlaser vorhanden ist, dieser jedoch aufgrund der großen Heterogenität der Gruppen keine signifikanten Unterschiede zwischen HLL- und LLL-Gruppe offenbart.

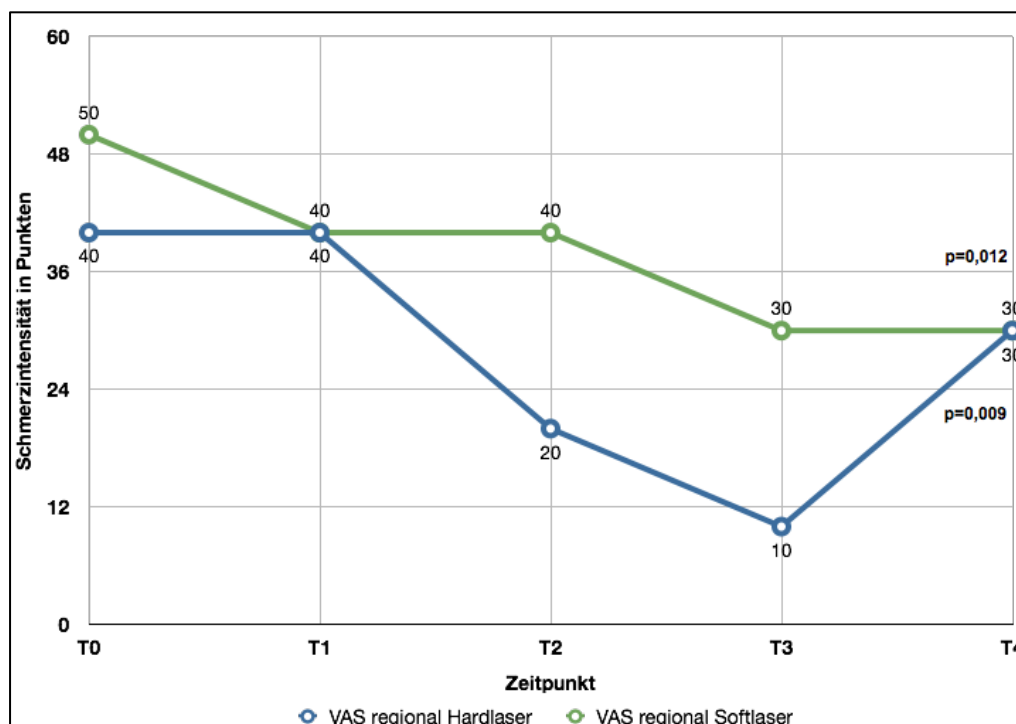


Abb. 25: Mediane der Visuellen Analogskala (VAS) differenziert in HLL- und LLL-Gruppe (T0-T4),
 p : Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

5.2.1.4 Muskulatur

Bei der Untersuchung von Schmerz und Hypertonus der Subokzipital- bzw. Nackenmuskulatur sowie der angrenzenden muskulären Strukturen zeigten sich im Vergleich zur Auswertung der Gesamtlaserpopulation keine großen Auffälligkeiten.

MUSKULATUR- VERGLEICH HLLT UND LLLT				
T0	HYPERTONUS		SCHMERZ	
	HLLT	LLL	HLLT	LLL
M. masseter	3	6	1	0
M. temporalis	5	5	3	2
Subocc.-/Nackenmuskulatur	12	11	10	11
M. trapezius	19	21	15	14
M. sternocleidomastoideus	9	10	5	3
infrahyoidale M.	3	0	2	0
suprahyoidale M.	5	0	1	0
T4	HYPERTONUS		SCHMERZ	
	HLLT	LLL	HLLT	LLL
M. masseter	3	4	2	1
M. temporalis	3	3	1	2
Subocc.-/Nackenmuskulatur	6	8	3*	3*
M. trapezius	16*	19	10*	9*
M. sternocleidomastoideus	4*	10	2	2
infrahyoidale M.	0	1	1	0
suprahyoidale M.	2	3	1	1

Tab. 15: Häufigkeiten der Hypertonus- und Schmerzzustände differenziert in HLL- und LLL-Gruppe (T0-T4), * Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

Wie in Tabelle 15 zu erkennen, fiel der M. trapezius mit einem Hypertonus bei 19 von 20 in der HLL- und 21 von 21 Betroffenen in der LLL-Gruppe auf. Dementsprechend schmerzhaft wurde das Betasten des Muskels bei 15 Personen in der Hardlaser- und 14 in der Softlaserkohorte befunden. Darüber hinaus wurde ein Hypertonus der Subokzipital- bzw. Nackenmuskulatur bei rund der Hälfte der Patienten in jeder Gruppe (LLL: 11, HLL: 12 Betroffene) ermittelt, der in fast allen Fällen als Schmerz verursachend angegeben wurden. Da sich in der Aufsplittung der Ergebnisse in die einzelnen Gruppen keine deutlichen Veränderungen in der Verteilung von Hypertonus- und Schmerzzuständen im Vergleich zur Gesamtlaserpopulation herausstellten, fasst die Tabelle 15 die wesentlichen Häufigkeiten zusammen. Bei der statistischen Analyse der Daten, gruppiert nach Behandlungskategorien (Low- vs. High-Intensity-Laser), wurde eine signifikante Verbesserung des Schmerzes der Subokzipital-/Nackenmuskulatur (HLL: $p=0,048$, LLL: $p=0,008$) sowie des M. trapezius (HLL: $p=0,036$, LLL: $p=0,008$) sowohl in der Soft- als auch in der Hardlasereinheit von T0 zu T4 deutlich. Ferner erwies sich der Hardlaser suffizient in der Verminderung der Spannung des M. trapezius ($p=0,005$) und des M. sternocleidomastoideus ($p=0,011$), dieser Einfluss auf die Hypertonusreduktion konnte beim LLL nicht nachgewiesen werden. Im direkten Vergleich ergab sich für keinen der Muskeln ein signifikanter Gruppenunterschied.

5.2.2 Apparative Untersuchung

5.2.2.1 Tissue Tensiometer (TTM)

Bei dem mit Hardlaser therapierten myofaszialen Triggerpunkt TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa) rechts zeigte sich zunächst eine Erhöhung der Gewebespannung nach Abschluss der Intervention, bevor sich eine Verminderung dieses muskulären Widerstands erkennen ließ (siehe Tabelle 16).

TTM (N/mm)- VERGLEICH HLLT UND LLLT											
Median (IQ)		T0	p	T1	p	T2	p	T3	p	T4	T1-T4
M. tra. re.	HLLT	2,98 (0,97)	0,003	3,55 (1,63)	0,632	3,43 (1,50)	0,066	3,26 (1,01)	0,088	3,37 (1,50)	0,040
	LLL	3,49 (0,87)	0,842	3,39 (0,60)	0,394	3,75 (0,88)	0,906	3,50 (1,19)	0,586	3,28 (0,86)	0,709
M. tra. li.	HLLT	3,36 (1,10)	0,156	3,36 (1,33)	0,031	2,93 (1,16)	0,569	3,20 (0,95)	0,381	3,14 (1,35)	0,166
	LLL	3,70 (0,99)	0,756	3,29 (1,04)	0,170	3,20 (1,00)	0,081	3,49 (1,19)	0,906	3,32 (1,46)	0,488

Tab. 16: Mediane (IQ) des mittels TTM gemessenen Gewebewiderstandes (T0-T4) differenziert in LLLT (n=21) und HLLT (n=20), Messpunkt: TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa), T1-T4: Friedman-Test (p≤0,05), p: Wilcoxon-Test (p≤0,05); n=41

Nach spontaner Veränderung von 2,98N/mm (T0) auf 3,55N/mm ergab sich nach Abschluss der HLLT eine Reduktion der Gewebespannung auf 3,43N/mm und weiterhin auf 3,26N/mm eine Woche nach Therapieende. Vier Wochen nach Interventionsschluss kam es zum erneuten Anstieg der Gewebespannung auf 3,37N/mm. Auf der linken Seite blieb die Baseline konstant bei 3,36N/mm, worauf eine Reduktion nach Therapieende folgte (2,93N/mm). Zu den Nachkontrollpunkten konnte wiederum ein Anstieg der Gewebespannung auf 3,20N/mm (T3) und 3,14N/mm (T4) verzeichnet werden.

In der Softlasergruppe lässt sich für die in Tabelle 16 ersichtlichen Spannungswerte des myofaszialen Triggerpunkts TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa) kaum ein Verlaufstrend erkennen. Es stellte sich eine Dynamik in der Baseline-Phase heraus. Die Gewebespannung des rechten M. trapezius stieg nach der Laserintervention und eine Woche nach Beendigung weiter an, bevor sie anschließend zum Untersuchungszeitpunkt T4 wieder auf 3,28N/mm abfiel. Auf der linken Seite stellten sich zunächst eine spontane Verminderung der Spannung auf 3,29N/mm und eine weitere Reduktion des Gewebewiderstands auf 3,20N/mm zum Zeitpunkt T2 dar. Ab dem Nachuntersuchungspunkt T3 stiegen die Werte wieder auf 3,49N/mm (T3) bzw. 3,32N/mm zum Follow-up T4. Im Falle der mit dem *Tissue Tensiometer* getesteten Gewebespannung ließ sich in der Hardlasergruppe für den rechten M. trapezius eine

signifikante Tonusabnahme auf dem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ nachweisen, die linke Seite ergab keinen signifikanten Verlaufstrend ($p=0,166$). Hinsichtlich der mit LLL therapierten Patienten konnte auf beiden Seiten keine Tendenz dokumentiert werden (M. trapezius rechts: $p=0,709$, M. trapezius links: $p=0,488$).

5.2.2.2 Pressure Threshold Meter (PTM)

Zu Studienbeginn wurde in der HLL-Population mithilfe des PTM ein druckalgometrischer Schwellenwert von $2,7 \text{ kp/cm}^2$ rechts- und $2,6 \text{ kp/cm}^2$ linksseitig diagnostiziert. Wie in Tabelle 17 dargestellt ist, zeichnete sich ohne Intervention auf der rechten Seite des M. trapezius eine Reduktion auf $2,3 \text{ kp/cm}^2$ ab, während die Schwelle links im Vergleich zur T0 auf gleicher Ebene blieb ($2,6 \text{ kp/cm}^2$ links). Nach Beendigung der Hardlaserintervention (T2) zeigte sich rechts ein Anstieg dieses Wertes auf wiederum $2,6 \text{ kp/cm}^2$. Links fiel der Median auf $2,4 \text{ kp/cm}^2$ ab.

PTM (kp/cm2)- VERGLEICH HLLT UND LLLT											
Median (IQ)		T0	p	T1	p	T2	p	T3	p	T4	T1-T4
M. tra. re.	HLLT	2,7 (1,4)	0,868	2,3 (0,9)	0,330	2,6 (1,4)	0,844	2,5 (0,9)	0,844	2,7 (0,8)	0,773
	LLL	2,2 (0,7)	0,098	1,8 (1,0)	0,102	2,2 (0,8)	0,205	2,4 (1,6)	0,638	2,4 (1,2)	0,012
M. tra. li.	HLLT	2,6 (1,5)	0,812	2,6 (1,5)	0,331	2,4 (1,5)	0,546	3,0 (1,1)	0,981	2,7 (1,5)	0,713
	LLL	2,4 (1,0)	0,386	2,1 (1,2)	0,104	2,3 (1,1)	0,852	2,5 (1,4)	0,499	2,5 (1,2)	0,299

Tab. 17: Mediane (IQ) der mittels PTM gemessenen Druckschmerzschwelle (T0-T4) differenziert in LLLT (n=21) und HLLT (n=20), Messpunkt: TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa), T1-T4: Friedman-Test ($p \leq 0,05$), p: Wilcoxon-Test ($p \leq 0,05$); n=41

Auch in der weiteren Nachbeobachtungsphase konnten keine eindeutigen Verlaufstendenzen festgestellt werden, die Werte schwankten rechtsseitig zwischen $2,5 \text{ kp/cm}^2$ (T3) und $2,7 \text{ kp/cm}^2$ (T4), links kam es zu einem kurzfristigen Schwellenwertanstieg auf $3,0 \text{ kp/cm}^2$ eine Woche nach beendeter HLLT, woraufhin die Ergebnisse zum vierwöchigen Follow-up wieder auf $2,7 \text{ kp/cm}^2$ absanken. Die fehlende Tendenz spiegelte sich auch in den statistischen Daten wider, die keine relevanten Änderungen aufwiesen. Für die druckalgometrische Prüfung des M. trapezius am Triggerpunkt TrP₂ mit dem PTM ließ sich bei den HLL-Patienten auf beiden Seiten kein statistisch signifikanter Verlauf erkennen (M. trapezius rechts: $p=0,773$, M. trapezius links: $p=0,713$).

In der Softlasergruppe wurde zu Beginn der Untersuchung ein druckalgometrischer Schwellenwert von $2,2 \text{ kp/cm}^2$ rechts- und $2,4 \text{ kp/cm}^2$ linksseitig festgestellt, der sich

zum Ende der Baseline-Phase auf beiden Seiten auf 1,8kp/cm² (rechts) und 2,1kp/cm² (links) minimierte. Nach Beendigung der LLLT zeigte sich in beiden Fällen ein Anstieg dieses Wertes auf 2,2kp/cm² rechts bzw. 2,3kp/cm² links. Auch in der weiteren Nachbeobachtungsphase T3 wurde eine erhöhte Druckschmerzschwelle beidseits (rechts 2,4kp/cm² und links 2,5kp/cm²) nachgewiesen. Beide Schwellenwerte hielten sich konstant auf diesem Niveau bis vier Wochen nach LLL-Therapieende.

In der Softlaserpopulation fiel, wie schon zuvor für die Gesamtlaserpopulation, eine Verlaufstendenz auf einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ auf der rechten Seite auf. Für die linke Seite des M. trapezius wurden keine signifikanten Abweichungen der Mediane der fünf Messzeitpunkte voneinander identifiziert ($p=0,299$). Zum Zeitpunkt T1 wurde ein signifikanter Mittelwertunterschied zwischen LLL- und HLL-Gruppe aufgezeigt (in der Abbildung 26 mit * gekennzeichnet), für alle anderen Zeitpunkte stellten sich keine relevanten Abweichungen der Laserpopulation voneinander heraus.

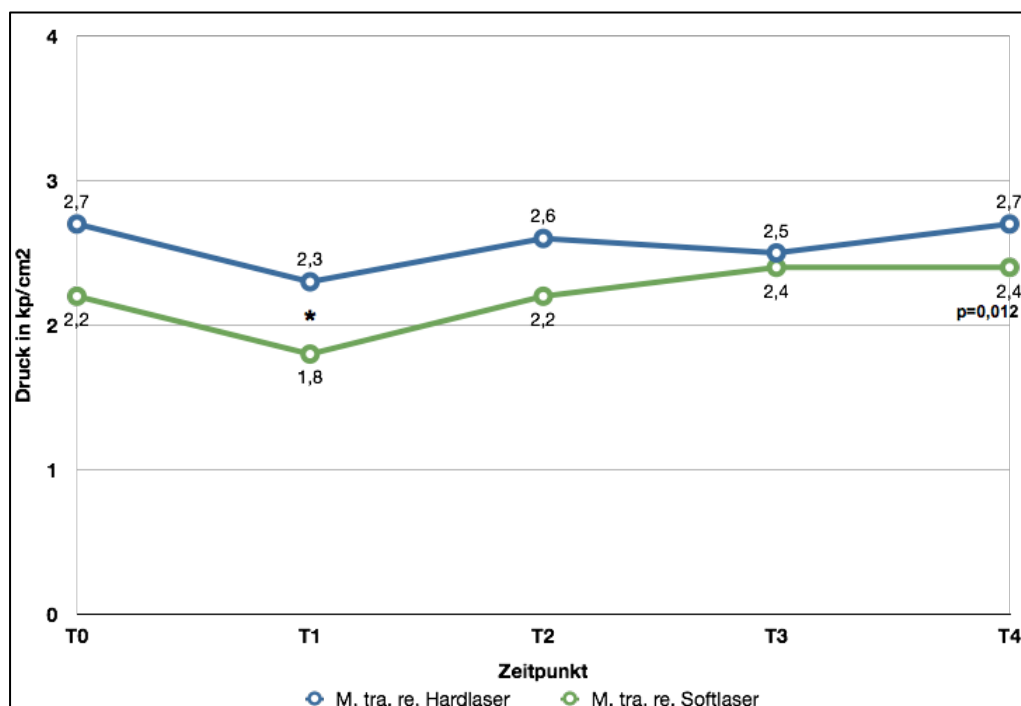


Abb. 26: Mediane der mittels PTM gemessenen Druckschmerzschwelle des M. trapezius rechts, differenziert in HLL- und LLL-Gruppe (T0- T4), * Mann-Whitney-U-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

5.2.3 Assessments

5.2.3.1 *Short-Form-12 Health Survey (SF-12)*

Zur Eingangsuntersuchung lag der allgemeine körperliche Gesundheitszustand SF-12 KS in der Hardlasergruppe bei 43,56 – damit im grenzwertig gesunden Bereich – und verbesserte sich ohne Intervention auf 43,59 Punkte (T1). Nach einem kurzfristigen Abfall des körperlichen Summenscores (KS) direkt nach Hardlasertherapieende auf 42,61 war im weiteren Studienverlauf ein kontinuierlicher Anstieg bis auf 45,53 Punkte zum Zeitpunkt T4 festzustellen. Eine gleichmäßige Steigerung im Verlauf der Studie war beim psychischen Summenscore (PS) nicht zu beobachten. Am Anfang wurde jedoch wiederum deutlich, dass der Ausgangswert T0 für den PS zu Beginn der Studie bereits sechs Punkte höher lag als für den KS. Somit startete dieser Score bei 49,64 und wies eine deutliche spontane Verbesserung um knapp 5 Punkte auf 54,59 Skaleneinheiten auf. Danach schwankte die Einschätzung der Patienten zu ihrem subjektiven Wohlbefinden zwischen 53,21 (T2) und 53,85 Punkten zum Follow-up-Termin vier Wochen nach Ende der Hardlaserintervention (Tabelle 18).

In der LLL-Gruppe wurde zur Eingangsuntersuchung ein KS von 40,51 dokumentiert, dieser verbesserte sich spontan auf 43,79 Punkte (T0). Wie auch in der HLL-Gruppe zuvor war hier im Anschluss ein Anstieg des körperlichen Summenscores bis auf 46,77 Punkte zum Zeitpunkt T4 zu verzeichnen. Während der KS bei ca. 40 Punkten startete, konnte beim psychischen Summenscore bereits ein knapp 10 Punkte höherer Ausgangswert zur T0 (49,23) ermittelt werden, der bereits ein durchschnittlich gutes Wohlbefinden testiert. Dies beweist eine größere physische als psychische Belastung der Patienten durch die chronischen Nackenschmerzen. Beim PS war eine Spontanverbesserung zum Untersuchungszeitpunkt T1 auf 52,90 Skaleneinheiten festzustellen. Danach fiel ein weitergehend konstanter Aufwärtstrend der erhobenen Werte bis zum abschließenden Messzeitpunkt T4 (55,68) auf.

ASSESSMENTS- VERGLEICH HLLT UND LLLT							
Median (IQ)		T0	T1	T2	T3	T4	T1-T4
SF-12 KS	HLLT	43,56 (14,34)	43,59 (17,67)	42,61 (14,53)	44,02 (16,10)	45,53 (16,83)	0,008
	LLL	40,51 (16,87)	43,79 (15,24)	45,71 (15,91)	45,32 (19,34)	46,77 (16,02)	0,419
SF-12 PS	HLLT	49,64 (10,29)	54,59 (9,91)	53,21 (9,07)	52,70 (11,85)	53,85 (13,81)	0,796
	LLL	49,23 (14,99)	52,90 (11,80)	54,60 (7,31)	54,98 (9,33)	55,68 (7,23)	0,016
NDI	HLLT	11,0 (10,0)	10,5 (9,0)	9,0 (7,0)	8,5 (10,0)	8,5 (10,0)	0,000
	LLL	12,5 (10,0)	11,0 (13,0)	9,0 (14,0)	9,5 (12,0)	9,5 (9,0)	0,000

Tab. 18: Mediane (IQ) der Punkteskalen des SF-12 und NDI (T0-T4) differenziert in LLLT (n=21) und HLLT (n=20), T1-T4: Friedman-Test ($p \leq 0,05$); n=41 (p-Werte mit 0,000 gekennzeichnet sind streng genommen nicht gleich null, sondern $p \leq 0,001$)

Für den KS des SF-12-Fragebogens in der HLLT-Kohorte wurde, wie schon zuvor für die Gesamtlaserpopulation, eine Verbesserung des körperlichen Gesundheitszustands auf einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ ermittelt. Beim psychischen Summenscore wurde hingegen keine Veränderung festgestellt ($p=0,796$). Andersherum verhielt es sich in der Softlaserpopulation, hier zeigte der körperliche Summenscore in der Trendanalyse keine signifikanten Messwerterhöhungen ($p=0,419$), wohingegen für den PS des SF-12-Fragebogens eine Verbesserung der psychischen Krankheitsbelastung auf dem Signifikanzniveau $p \leq 0,05$ nachgewiesen werden konnte. Die genannten Ergebnisse sind zur graphischen Veranschaulichung in Abbildung 27 zusammengefasst worden.

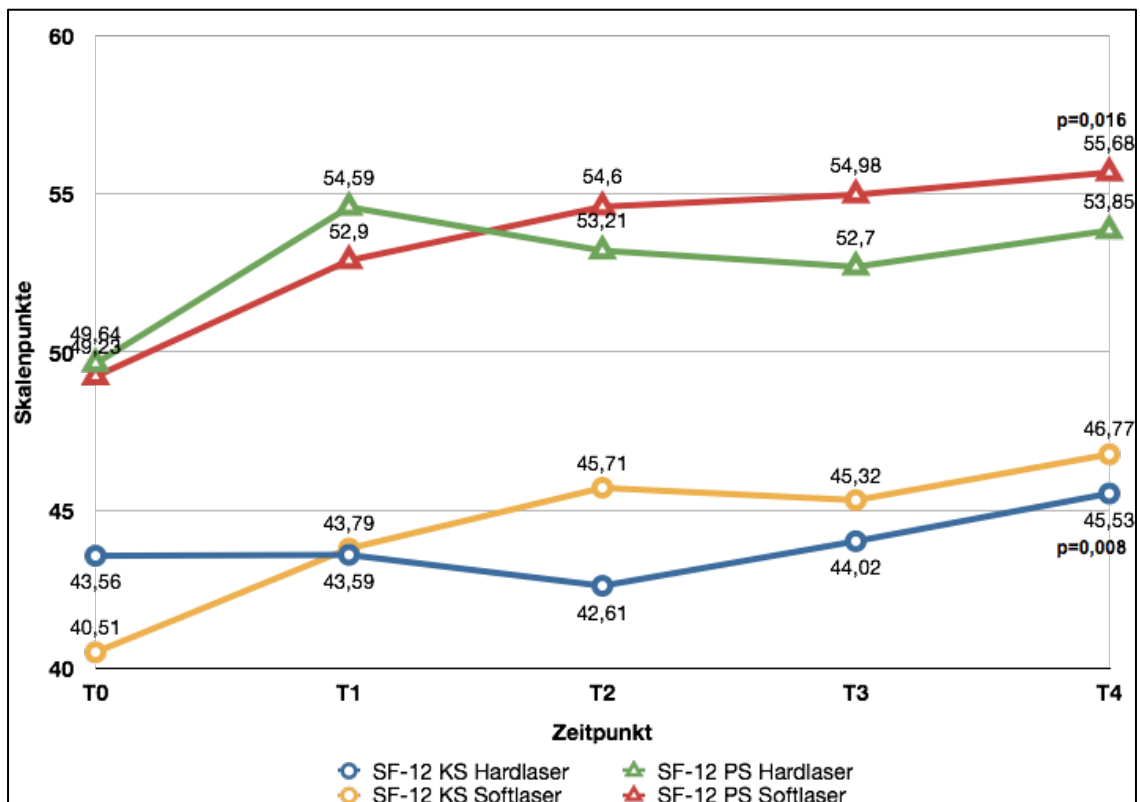


Abb. 27: Mediane der Punkteskalen des SF-12-Fragebogens (T0-T4) differenziert in HLL- und LLL-Gruppe, p : Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

5.2.3.2 Neck Disability Index (NDI)

Bezugnehmend auf Tabelle 18 ergab sich in der HLL-Population nach Einschätzung der nackenspezifischen Einschränkungen durch die Patienten ein NDI-Index von 11,0 von möglichen 50 Punkten zur Eingangsuntersuchung. Dieser veränderte sich in der Baseline-Periode auf 10,5 und zeigte nachfolgend eine stetige Besserung – beim NDI an fallenden Werten erkennbar – bis auf 8,5 Punkte zum Follow-up vier Wochen nach HILT.

Die mit Softlaser behandelten Patienten beurteilten ihre nackenspezifischen Einschränkungen vor Beginn der Intervention mit 12,5 Punkten. Dieser Index verbesserte sich spontan auf 11,0 Punkte (T1). Ebenso wie in der Vergleichsgruppe des HLL-Patientenkollektivs erfolgte bei der LLL-Gruppe eine Steigerung des gesundheitlichen Wohlbefindens, gemessen an HWS-Behinderungen (T4: 9,5 Punkte). Dabei war der beste Gesundheitszustand direkt nach Softlaserinterventionsende mit 9,0 Punkten zu verzeichnen. Der *Neck Disability Index* zeigte, wie bereits in der Gesamttherapiegruppe, in beiden

Interventionsgruppen eine signifikante Verbesserung über die Studie hinweg (HLLT und LLLT: $p \leq 0,001$). Zur Veranschaulichung sind die Verläufe der Angaben des NDI in folgender Abbildung 28 aufgetragen:

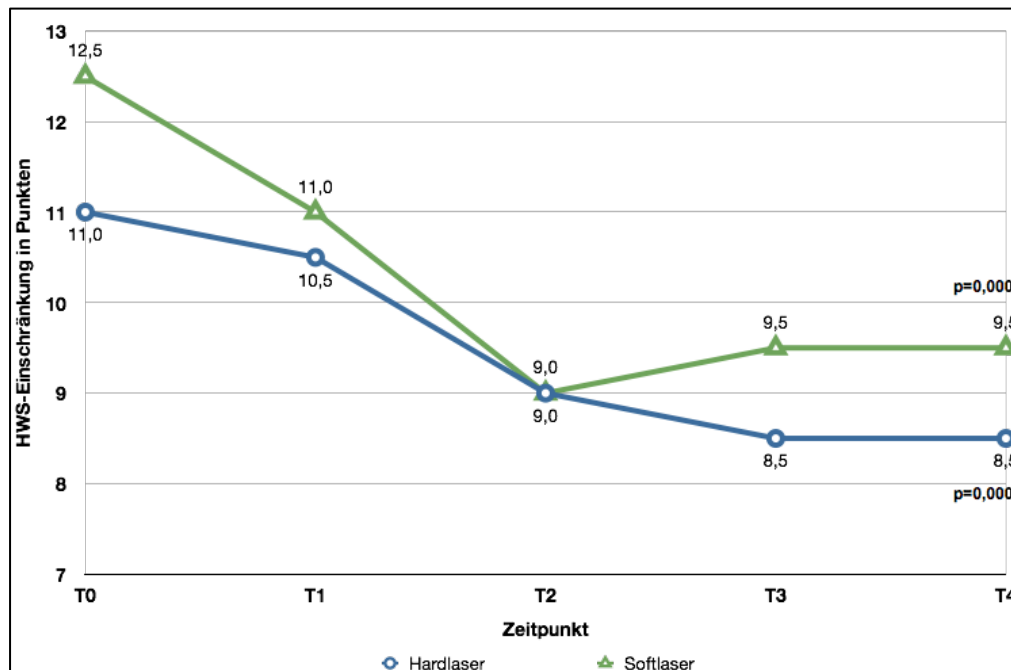


Abb. 28: Mediane der Punkteskalen des NDI (T0-T4) differenziert in HLL- und LLL-Gruppe, p : Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

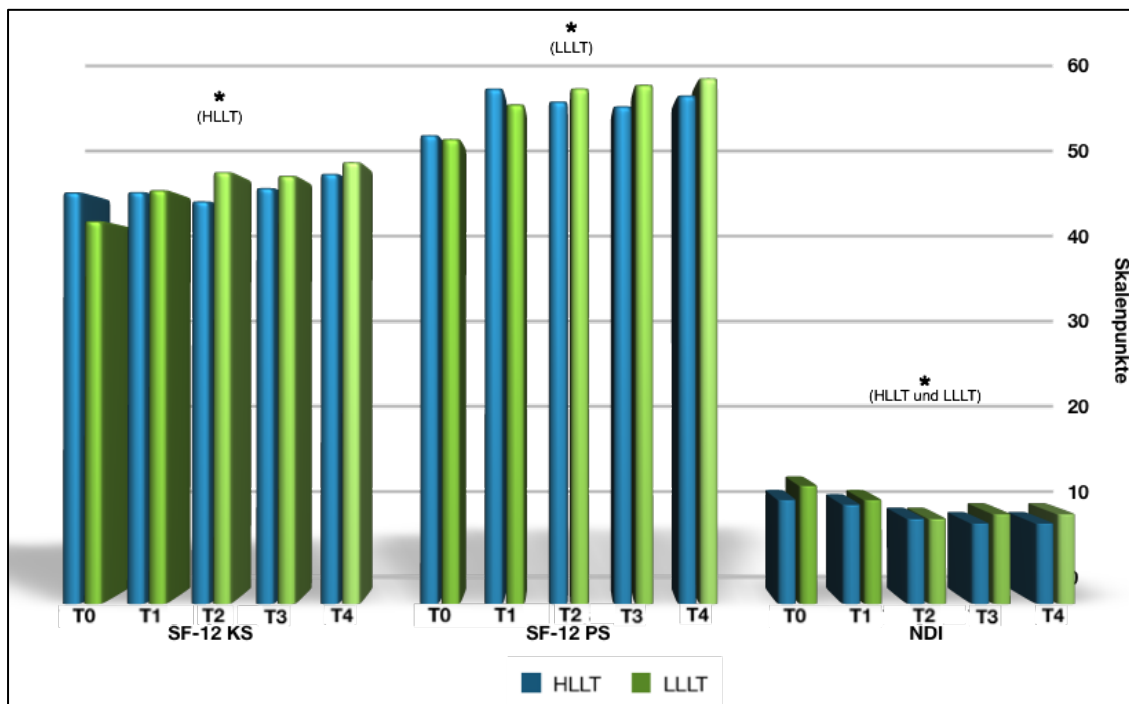


Abb. 29: Mediane der Punkteskalen aller Assessments (T0-T4) differenziert in HLL- und LLL-Gruppe, * Friedman-Test ($p \leq 0,05$); $n=41$

5.3 Vergleich der beiden Interventionsgruppen (HLL und LLL)

Tabelle 19 dient der Zusammenfassung aller zuvor genannten Daten zum Vergleich der Lasergruppen untereinander.

Hinsichtlich der allgemeinen Statik in der Hardlaserpopulation ergab sich eine statistisch signifikante Verminderung der Patienten, die ein oberes gekreuztes Syndrom aufwiesen. Diese Tendenz bestätigte sich ebenfalls für die Gesamtlasereinheit, nicht jedoch alleinig für die LLLT-Gruppe. Bezüglich der allgemeinen Bewegungsausmaße erwies sich in der High-Intensity-Lasereinheit die HWS-Rotationsverbesserung (ROM) als statistisch relevant, die solitär in der Softlasergruppe nicht zu finden war, in der Gesamtlasergruppe dann jedoch wieder auffiel. Alle anderen ermittelten metrischen Maße (Schober, FBA, KJA) erbrachten keine Verbesserungen auf Signifikanzniveau. Zudem wurden die vor und nach der Lasertherapie diagnostizierten Bewegungsfunktionsstörungen der Halswirbelsäule analysiert, wobei in der Hardlasergruppe eine Verbesserung der Funktionsstörungen und der Schmerzsymptomatik für die Lateralflexion nach rechts sowie eine Schmerzreduktion für die Lateralflexion nach links deutlich wurden. Für die gleiche Bewegung (Lateralflexion links) konnte in der Softlaserinterventionseinheit eine kombinierte Verminderung von Funktionsstörung und Schmerz nachgewiesen werden. In Hinsicht auf die Gesamttherapiegruppe ergibt sich folgendes Bild: Die Extensionsbewegung sowie die Lateralflexion in beide Richtungen ließen eine statistisch relevante Verbesserung der Funktionsstörungen und der Schmerzsymptomatik erkennen, weiterhin fiel eine singuläre Verringerung der Funktionsstörungen bei der Rotation nach links im HWS-Bereich auf. Außerdem wurden die muskulären Schmerz- und Spannungszustände der Nackenmuskulatur sowie angrenzender muskulärer Strukturen betrachtet. Es bestätigte sich eine signifikante Schmerz- und Hypertonusreduktion des M. trapezius, der Subokzipital-/Nackenmuskulatur und darüber hinaus eine Abnahme der hypertonen Zustände des M. sternocleidomastoideus durch Therapie mit HLL. Mit dem Softlaser konnte eine solitäre Schmerzminderung des M. trapezius und der Subokzipital-/Nackenmuskulatur erzielt werden. Zusammengefasst für die Gesamtbehandlungsgruppe ergibt sich eine Schmerz- und Hypertonusreduktion des M. trapezius und der subokzipitalen/Nackenmuskulatur sowie eine Verbesserung der hypertonen Zustände des M. sternocleidomastoideus. In punkto Schmerzbeurteilung mittels *Visueller Analogskala*

durch die Patienten wurde in beiden Laserkollektiven einzeln sowie dementsprechend in der Gesamtlaserpopulation eine statistisch relevante Schmerzlinderung im Nackenbereich erzielt. Global betrachtet hingegen konnte in beiden Gruppen einzeln und in der Gesamtbetrachtung keine Änderungstendenz beobachtet werden. Resümierend ergaben die apparativen Messungen, zunächst gemessen mit dem TTM, eine signifikante Tonusabnahme des rechten M. trapezius in der Hardlasergruppe und keine statistisch wesentliche Änderung auf der linken Seite. Die mit dem PTM geprüfte Druckalgometrie zeigte in der LLLT sowie in der Gesamtgruppe eine Erhöhung der Schmerzschwelle des M. trapezius, wiederum nur rechtsseitig, auf Signifikanzniveau. Die erhobenen Assessments SF-12 und NDI konnten summa summarum eine starke Verbesserung erzielen, so stellten sich in der HLL-Einheit sowie in der Gesamtpopulation eine Steigerung des körperlichen und in der LLL-Gruppe des psychischen Summenscores heraus. Der *Neck Disability Index* wies in beiden Einzelgruppen sowie in der Gesamtkohorte eine Zunahme des nackenspezifischen Gesundheitszustands auf.

VERGLEICH LLLT UND HLLT- Zusammenfassung				
Allgemeine Statik	LLLt („Soflaser“)	HLLT („Hardlaser“)	Gesamt- Lasertherapie	
ogS	-	verminderte Anzahl ogS	verminderte Anzahl ogS	
ugS, SHS, Taillendreieck verstrichen, BHS, Skoliose	-	-	-	
Allgemeine Bewegungsmaße				
Schober, FBA, KJA	-	-	-	
HWS-Rotation ROM	-	HWS-Rotationsverbesserung	HWS-Rotationsverbesserung	
Bewegungsfunktionsstörungen				
HWS	Flexion	-	-	
	Extension	-	-	
	Lateralflexion re.	-	Verminderung FS und Schmerz	Verminderung FS und Schmerz
	Lateralflexion li.	Verminderung FS und Schmerz	Schmerzreduktion	Verminderung FS und Schmerz
	Rotation re.	-	-	-
	Rotation li.	-	-	Verminderung FS
Muskulatur				
M. trapezius	Schmerzmindering	Schmerz- und Hypertonusreduktion	Schmerz- und Hypertonusreduktion	
Subokzipital-/Nackenn Muskulatur	Schmerzmindering	Schmerzmindering	Schmerz- und Hypertonusreduktion	
M. sternocleidomastoideus	-	Hypertonusreduktion	Hypertonusreduktion	
Schmerzbeurteilung				
VAS	regional	Schmerzmindering	Schmerzmindering	
	global	-	-	
Apparative Messungen				
TTM	M. trapezius re.	-	Tonusabnahme	-
	M. trapezius li.	-	-	-
PTM	M. trapezius re.	Schmerzschwellenerhöhung	-	Schmerzschwellenerhöhung
	M. trapezius li.	-	-	-
Assessments				
SF-12	KS	-	Verbesserung	Verbesserung
	PS	Verbesserung	-	-
NDI		Verbesserung	Verbesserung	

ogS: oberes gekreuztes Syndrom, ugS: unteres gekreuztes Syndrom, SHS: Schulterhochstand, BHS: Beckenhochstand, FBA: Finger-Boden-Abstand, KJA: Kinn-Jugulum-Abstand, ROM: range of motion, VAS: Visuelle Analogskala, TTM: Tissue Tensiometer, PTM: Pressure Threshold Meter, SF-12: Short-Form-12 Health Survey, NDI: Neck Disability Index

Tab. 19: Zusammenfassung aller Ergebnisse ($p \leq 0,05$) differenziert in LLLT (n=21), HLLT (n=20) und Gesamtgruppe (n=41) im Studienverlauf (T0-T4)

6 DISKUSSION

6.1 *Entwicklung des Untersuchungsbogens und klinische Untersuchungsbefunde*

Chronische unspezifische Nackenschmerzen gelten als multifaktorielle Erkrankung und sind in immer größerer Zahl in der modernen Gesellschaft anzutreffen. Die Vielzahl an synonym verwendeten Begriffen (Zervikalsyndrom, Zervikalneuralgie, HWS-Syndrom, zervikozephal und -brachiales Syndrom) beschreibt differenzialdiagnostische Ansätze, die in der täglichen Routine so nicht zu vorzufinden sind. Trotz ausführlicher Untersuchung lassen sich die genauen Ursachen chronischer Nackenschmerzen nur in den seltensten Fällen ermitteln. Ihnen liegen in weniger als 1% spezifische Grunderkrankungen – traumatischen, entzündlichen, raumfordernden oder systemischen Ursprungs – zugrunde. Ein möglicher „gefährlicher“ Verlauf dieser Schmerzen muss jedoch bei Erstdiagnostik der Erkrankung ausgeschlossen werden (DEGAM 2009). Selbst bei radiologisch nachweisbaren Veränderungen stehen diese nur selten in kausalem Zusammenhang mit den geklagten Beschwerden (Heller et al. 1983). Laut DEGAM werden degenerative Wirbelkörperveränderungen aufgrund eines hohen Kausalitätsbedürfnisses in der Bevölkerung oft als Ursache der Nackenschmerzen angesehen, sie treten jedoch in den meisten Fällen unabhängig davon auf (DEGAM 2009). Als psychosoziale Risikofaktoren gelten laut einer Übersichtsarbeit von Ariëns et al. hohe Arbeitsanforderungen, geringe soziale (Mitarbeiter-)Unterstützung, geringe Kontrolle über die Arbeit selbst sowie eine geringe Zufriedenheit mit dem Job (Ariëns et al. 2001). Die Behandlung unspezifischer chronischer Nackenschmerzen erfolgt laut DEGAM durch Krankengymnastik, manuelle Therapie, postisometrische Relaxation, Muskelkräftigung und Akupunktur auf der Empfehlungsstufe A nach wissenschaftlicher Studienlage hoher Qualität, während eine Sportempfehlung die Stufe B (durch sonstige Studien beschrieben) trägt. Die *Nationale VersorgungsLeitlinie* (NVL) *Kreuzschmerz* empfiehlt neben der primär anzuwendenden Bewegungstherapie darüber hinaus die Durchführung von Patientenedukation und kognitiver Verhaltenstherapie, die in ein multimodales Behandlungskonzept eingebunden sein sollte (Fachgesellschaften 2010).

Der von uns gewählte Studienansatz trägt der multifaktoriellen Problematik Rechnung, indem als Zielparameter neben Schmerz und Funktionalität ebenfalls die Alltagstauglichkeit getestet wird. Damit eine generelle Vergleichbarkeit der Krankheiten und ihrer Auswirkungen ermöglicht wird, wurden seitens der WHO zwei Klassifikationssysteme eingeführt. Während die ICD-10 lediglich Strukturveränderungen klassifiziert (defizitorientiertes System), umfasst die *International Classification of Functioning, Disability and Health* (ICF) Körperfunktionen, Aktivitäten und Partizipation des Patienten im täglichen Leben. Mit der ICF-Klassifikation können somit Aspekte von Krankheitsfolgen dem biopsychosozialen Modell gemäß unter Berücksichtigung der Kontextfaktoren systematisch erfasst werden. Beide Klassifikationen zusammen schaffen die Voraussetzungen für ein umfassendes Bild über den Gesundheitszustand des Patienten und eine globale Vergleichbarkeit.

Für den Zugang zur multifaktoriellen Kausalkette und die Untersuchung der Zusammenhänge von Hüft- und Beckenstellungen, Wirbelsäulenbeweglichkeit und muskulären Einflussfaktoren wurde zunächst ein ausführlicher Untersuchungsbogen entwickelt, der einen standardisierten Ablauf in der täglichen Praxis gewährleistet (siehe Abbildung 29). Um gleichfalls dem ressourcenorientierten Anschauungsmodell des ICF gerecht zu werden, fließen mit dem SF-12 und dem NDI Outcomes in die Studie ein, die neben der physischen auch die psychische Gesundheit prüfen, sodass potentielle Ursachen der Erkrankungen auch auf dieser Ebene aufgezeigt werden können.

Im Folgenden werden vorerst die klinischen Befunde, ermittelt mithilfe des Untersuchungsbogens, dargestellt. Schmerzdetektierende Untersuchungen können nach Patijn und Ellis in zwei große Gruppen unterteilt werden: orientierende vs. segmentale Tests (Patijn und Ellis 2001). Bei allen unseren Untersuchungen handelt es sich um orientierende Tests der einzelnen Wirbelsäulensabschnitte. Im Bereich der HWS wurden mit dem Aufsuchen von Triggerpunkten zusätzlich gezielt segmentale Tests durchgeführt.

Orientierend für muskuläre Dysbalancen und daraus resultierende Haltungs- bzw. Stellungsfehler wurden zunächst das obere und das untere gekreuzte Syndrom erfasst. Die Spannungserhöhung der Nackenstrecker, des M. levator scapulae sowie des M. pectoralis bei gleichzeitiger Abschwächung der phasischen Antagonisten gilt

wegen der Störung des muskulären Gleichgewichts als möglicher Grund für die Entstehung von Schmerzen im zervikalen Bereich. Auch der funktionelle Kopfschmerz lässt sich unter anderem so erklären (Freydank 2011).

Die Funktion der einzelnen Muskeln reicht allein nicht zur Entstehung einer Bewegung aus, vielmehr ergibt sich diese aus einem Zusammenspiel synergistisch und antagonistisch wirkender Muskeln. Die Abfolge der Bewegungen in den verschiedenen für die Ausführung dieser motorischen Aktion notwendigen Gelenken und Muskeln wird als kinematische Kette bezeichnet (Tittel 2003). Interessant im Studienverlauf ist die aufgezeigte signifikante Verminderung der Patienten mit einem oberen gekreuzten Syndrom. Durch die Laserintervention scheint es zu einer Änderung der Muskelbalance der oberen (M. levator scapulae, Pars descendens des M. trapezius, Mm. scaleni) und unteren (Pars ascendens des M. trapezius, M. serratus anterior) Fixatoren des Schultergürtels durch Spannungsverminderung der Nackenstrecker gekommen zu sein.

Dieses genannte Syndrom ist jedoch in Kombination mit weiteren diagnostischen Tests zu sehen. Zusätzlich ermittelte Parameter zur allgemeinen Statik stellen der Schulter- und Beckenhochstand, ein verstrichenes Taillendreieck und skoliotische Fehlhaltungen dar. Bei allen diesen Tests zeigte sich eine Abnahme der Fehlstellungen, die aber nicht als statistisch signifikant nachgewiesen werden konnte. Hinsichtlich der skoliotischen Haltungen muss zwischen struktureller und funktioneller Skoliose unterschieden werden. Auf die strukturelle Skoliose, die häufig idiopathischen Ursprungs ist, ist durch Lasertherapie kein Effekt zu erwarten. Aufgrund unserer Ergebnisse kann dennoch vermutet werden, dass eine funktionelle skoliotische Fehlhaltung, die entweder auf eine funktionelle Beinlängendifferenz oder eine Zwangshaltung zurückgeht (z.B. wegen Nackenschmerzen), über muskuläre Verkettungen und eine reflektorische Beeinflussung durch die erfolgte Laserintervention verbessert werden kann. So kann es durch Reduktion der zervikalen Schmerzen zur Auflösung der eingenommenen Fehlhaltungen kommen und somit zur aufgezeigten Verminderung der funktionellen skoliotischen Verbiegungen. Wie schon zuvor beim ogS und ugS ergab sich durch die Behandlung mit Laser eine Tendenz zur Aufhebung muskulärer Verspannungen im Nackenbereich und damit zur Verbesserung der Gesamtkörperposition.

Um eine Aussage über die Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule treffen zu können, diene der FBA zunächst als generelles Maß. Laut einer Untersuchung von Hätscher et al. liegt der Median unserer Testpersonen zum Aufnahmezeitpunkt T0 im Normbereich für Wirbelsäulengesunde (Hätscher et al. 1989). Im Studienverlauf stellten sich aufgrund der bereits zu Beginn sehr guten Beweglichkeit unserer Patienten keine relevanten Änderungen heraus. Die große Streuung deutet jedoch auf ein breites Spektrum der Wirbelsäulenbeweglichkeit unter allen Nackenschmerzpatienten hin, sodass auch dieser Funktionsindex nur bedingte Aussagekraft besitzt. An dieser Stelle sei auf eine mögliche lokale Hypermobilität der HWS hingewiesen. Durch die erhöhte Beweglichkeit kann es zu einer funktionellen und morphologischen Überbeanspruchung der Kopf- und darunterliegender HWS-Gelenke kommen, die sich mit schmerzhaften kapsulären und muskulären Reaktionen manifestieren kann (Simpson 2006). Hinzu kommt, dass neben der Mobilität der Wirbelsäule auch die Dehnbarkeit des M. quadriceps femoris, die Stellung der Knie, die Hüft- sowie die Schulterbeweglichkeit eine Rolle bei der Ermittlung dieses Bewegungsmaßes spielen (Buchalter et al. 1989). Im Gegensatz dazu eignet sich der FBA aufgrund der hohen intrapersonellen Reliabilität als Verlaufspareter.

Als weiterer Beweglichkeitsgrad diene das Maß nach Schober. Hier ergab sich eine geringfügige Verbesserung der Summe aus Vor- und Rückbeuge um 0,5cm, die jedoch ebenfalls keine statistische Signifikanz aufweist. Auch für diesen Pareter liegen unsere Nackenschmerzpatienten im Normbereich, der sich aus 4-6cm Auseinanderweichen bei der Anteflexion und 1-2cm Zusammenrücken der zuvor gezeichneten Hautmarken bei der Retroflexion zusammensetzt (Schober 1937).

Der KJA, der spezifisch die Ante- und Retroflexionsbeweglichkeit der HWS testet, ließ im Verlauf der Studie keine Verbesserung erkennen. Da vermehrt Verspannungen des M. trapezius sowie des M. sternocleidomastoideus aufzufinden waren, sind durch die natürliche Funktion dieser Muskeln v.a. Rotations- und Lateralflexionsbewegungen eingeschränkt. Weil die Muskulatur für die Flexionsbewegungen nicht oder nur gering betroffen zu sein scheint, könnte dies eine Erklärung dafür sein, dass der Kinn-Jugulum-Abstand unverändert bleibt.

Bei der Untersuchung der HWS-Rotationsfähigkeit fiel im Studienverlauf eine signifikante Verbesserung für die Gesamtlaserpopulation im Follow-up auf. Die

Beweglichkeit hatte vom Aufnahmezeitpunkt bis vier Wochen nach Beendigung der Laserintervention zugenommen. Dafür kann zum einen die Wirkung des Lasers verantwortlich sein, zum anderen scheinen die Erwartungshaltung der Patienten und der damit in Verbindung stehende Placebo-Effekt eine Rolle zu spielen.

An zweiter Stelle erfasst unser Untersuchungsbogen Bewegungsfunktionsstörungen der einzelnen Wirbelsäulenabschnitte. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der HWS, da Schmerzen und Funktionsstörungen bei Bewegungen dieses Segments bei bis zur Hälfte aller untersuchten Nackenschmerzpatienten Probleme bereiten. Um einen ganzheitlichen Ansatz zu wählen, sollen aber auch Einschränkungen der Mobilität der Brust- und Lendenwirbelsäule grundlegend in die Beobachtungen einfließen. Drei von sechs getesteten Bewegungen der Halswirbelsäule zeichneten sich durch signifikante Verbesserungen von Funktionsstörungen und Schmerzen aus, dazu zählen die Extension sowie die Lateralflexion nach rechts und links. Zusätzlich konnten Rotationsstörungen ebenfalls auf statistisch relevanter Ebene reduziert werden. Im Bereich der BWS und LWS bestätigten sich keine bedeutsamen Verminderungen von Bewegungsfunktionsstörungen, wobei zu beachten ist, dass diese schon zu Anfang in wesentlich geringerer Zahl auftraten. Somit kann davon ausgegangen werden, dass der Laser sehr wohl seine Wirkung in der Zervikalregion entfaltet, sich jedoch – wie erwartet – nicht auf die tiefer liegenden Wirbelsäulenabschnitte auswirkt. In Hinsicht auf die Einschätzung von muskulären Dysbalancen und Schmerzzuständen zeigte sich in der Gesamtbehandlungsgruppe eine Schmerz- und Hypertonusreduktion des M. trapezius und der Subokzipital-/Nackenmuskulatur sowie eine Hypertonusverminderung des M. sternocleidomastoideus. Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass manualmedizinische Untersuchungen wie die Feststellung von Bewegungsfunktionsstörungen und die Palpation muskulärer Dysbalancen nur sinnvoll sind, wenn sie einerseits ausschließlich von geübten Untersuchern durchgeführt werden, die diese Störungen sicher ertasten und dabei auch kleinste Seitenunterschiede feststellen können. Andererseits wurden die Untersuchungen von Bewegungsfunktionsstörungen der Wirbelsäule sowie die Palpation von hypertonen und schmerzhaften Triggerpunkten bei unserer Studie immer von demselben manualmedizinisch ausgebildeten Arzt durchgeführt, um eine möglichst hohe Intrarater-Reliabilität zu gewährleisten. An einer Rückenschmerzpatientenklientel zeigten Conradi et al., dass die Erfahrung des

Manualmediziners entscheidend ist für das Zustandekommen einer guten bis moderaten Reliabilität (Conradi et al. 2003). Licht et al. wiesen vier Jahre später, um der zunehmenden Technisierung entgegenzugehen, eine gute bis hervorragende Interrater-Reliabilität zur manualmedizinischen Diagnostik von myofaszialen Triggerpunkten nach (Licht et al. 2007). Aussagen zur Reliabilität der einzelnen manualmedizinischen Tests sind aufgrund fehlender Studien bzw. Literatur nur schwer zu treffen und die Aussagekraft klinisch-manueller Befunde wird aufgrund schlechter Reproduzierbarkeit als kritisch angesehen (Derlien 2009).

Patientennr.:

Zeitpunkt: T0 T1 T2 T3 T4

Universitätsklinikum Jena



Medizinische Fakultät
Institut für Physiotherapie
Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2008
Direktor: Prof. Dr. med. U.C. Smolenski
Erlanger Allee 101
07740 Jena
Tel.: 03641/9-32 52 01
Fax.: 03641/9-32 52 02

Laserstudie - Untersuchungsbogen

1. Allgemeine Statik

oberes gekreuztes Syndrom

ja

unteres gekreuztes Syndrom

ja

Schulterhochstand

re. li.

☐ ☐

Taillendreieck verstrichen

☐ ☐

Beckenhochstand

☐ ☐

Skoliose-Überhang

☐ ☐

Schober

Fingerbodenabstand

HWS Rotation

Kinn-Jugulum-Abstand

Isometrie

Rotation

Seitneige

Flexion

re. li.

re. li.

Ante- Retro-

HWS

☐ ☐

☐ ☐

☐ ☐

BWS

☐ ☐

☐ ☐

☐ ☐

2. Bewegungsfunktions- störungen

Flexion

ja ja

ja ja

ja ja

Extension

ja ja

ja ja

ja ja

Lateralflexion re.

ja ja

ja ja

ja ja

Lateralflexion li.

ja ja

ja ja

ja ja

Rotation re.

ja ja

ja ja

ja ja

Rotation li.

ja ja

ja ja

ja ja

HWS
Fkt. Schm.

BWS
Fkt. Schm.

LWS
Fkt. Schm.

ISG

re. li.

Vorlauf Anfang

☐ ☐

Vorlauf Ende

☐ ☐

Schmerz

☐ ☐

Funktionsstörung

☐ ☐

3. Visuelle Analogskala (VAS)

regionaler Schmerz Nacken

globaler Schmerz

4. Tissue Tension Meter (TTM)

M. trapezius re. N/mm

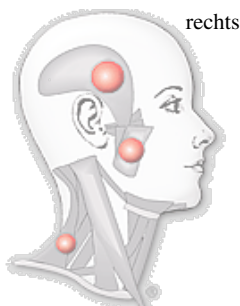
M. trapezius li. N/mm

5. Pressure threshold meter (PTM)

M. trapezius re. kg

M. trapezius li. kg

6. Muskulatur



rechts

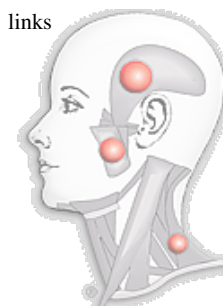
Schmerz
Hypertonus

☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐

M. masseter
M. temporalis
Suboccip.-/Nacken-M.
M. trapezius
M. sternocleidomastoideus
infrahyoidale M.
suprahyoidale M.

Schmerz
Hypertonus

☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐
☐ ☐



links

event. Triggerpkt. einzeichnen

Abb. 30: Laserstudie-Untersuchungsbogen (Laura Bocker)

6.2 Veränderungen bezüglich Schmerz, Muskelspannung und Lebensqualität in der Gesamtgruppe

Um wiederum einem multifaktoriellen Ansatzmodell gerecht zu werden und Einflüsse der gesamten Körperstatik einzubeziehen, wurde neben dem regionalen – nackenspezifischen – Schmerzerleben auch der globale Schmerz der Patienten mithilfe der visuellen Analogskala (VAS) untersucht. „Die VAS wird allgemein als gutes Mittel anerkannt, um die Intensität des Schmerzes abzuschätzen“ (Bijur et al. 2001). Dabei ist zu beachten, dass eine geringe Compliance der Patienten bei der Angabe des Schmerzempfindens ein Nachteil der VAS und somit eine Fehlerquelle sein kann (Sax 2009). Durch die Einteilung in regionalen und globalen Schmerz kann eine Differenzierung erfolgen, ob die Schmerzsache unmittelbar in der Nackenregion zu finden ist oder gegebenenfalls auf Missverhältnisse in der Statik und muskulären Balance des gesamten Körpers zurückzuführen ist. Andersherum kann die Unterteilung in lokales und globales Schmerzgeschehen aber auch den Schluss zulassen, dass kein Zusammenhang zwischen Nackenschmerzsymptomatik und Veränderungen der globalen Schmerzen besteht. Es zeigte sich eine signifikante Minderung des regionalen Schmerzempfindens, während der ganzkörperbezogene Schmerz keine statistisch relevante Änderung erfuhr. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass die Lasertherapie einen günstigen Einfluss auf die Schmerzsymptomatik lokal im Nackenbereich hat, der Verlauf des subjektiven Schmerzes bezogen auf den gesamten Körper jedoch tagesabhängigen Schwankungen und unterschiedlichsten Einflüssen unterliegt und somit kein Zusammenhang zwischen Behandlung des Nackens mit Hard- bzw. Softlaser und Änderung der globalen Schmerzsymptomatik besteht. Das Erleben von Empfindungsveränderungen kann dabei einerseits konkret auf ein Schmerzereignis zurückzuführen sein, andererseits können aber auch vielfältige andere Umstände, z.B. neurologische oder emotionale Geschehnisse, ähnliche Eindrücke hervorrufen (Mense 2004).

Zur Schmerzempfindung kommt es bei Aktivierung des nozizeptiven Systems. Ein pathophysiologischer Nozizeptorschmerz entsteht, wenn das Gewebe infolge einer Entzündung oder Verletzung geschädigt wird. Durch neuroplastische Sensibilisierungsprozesse zentral und peripher kann es hierbei zur Ausbildung von Allodynie und Hyperalgesie kommen, die für die Chronifizierung von Schmerzen eine

wesentliche Rolle spielen können (Mense 2004). Grundsätzlich ist die Kontrolle des nozizeptiven Systems durch das Nervensystem und die damit ermöglichte Verminderung der regionalen Schmerzen über folgende zwei Mechanismen zu erklären: Vom Hirnstamm absteigende Bahnen vermitteln eine deszendierende Hemmung über eine tonische Hemmung der nozizeptiven Neurone. Ausgangskerne hierfür sind das peri-aquäduktale Grau sowie der Nucleus raphe magnus und der Locus coeruleus. Zu dieser tonisch deszendierenden Hemmung gehören als zweiter Kontrollweg die segmentalen inhibitorischen Interneurone. Zusammen bilden sie ein endogenes antinozizeptives System.

Ein wesentlicher Effekt der Lasertherapie ist die mögliche positive Beeinflussung des Schmerzempfindens der Patienten. Dabei kann der Laser über direkte und indirekte Wege zu einer analgetischen Reaktion führen. Über die Aktivierung von A β - und A δ -Fasern, z.B. durch thermische Reizung, kommt es am Rückenmark zur Hemmung der einströmenden, schmerzvermittelnden C-Fasern und damit zur Blockierung erregender Schmerzimpulse (Locher et al. 2010). Daneben beruht die Wirkung unter anderem auf einer Gefäßdilatation und Verminderung der Blutviskosität im behandelten Gebiet und einer damit verbundenen Änderung der Hämodynamik. In dieser Zone lässt sich häufig eine Hyperperfusion und eine damit verbesserte Sauerstoffversorgung des Gewebes nachweisen (Hering und Schwarzmaier 1998). Locher und Mense beschreiben eine sich daraus ergebende Stoffwechselaktivierung und Entspannung der (reflektorisch) verspannten Muskulatur (Locher et al. 2010), im Besonderen bei Triggerpunkten (Mense 2004).

Um sichere Aussagen treffen zu können, müssen brauchbare Testverfahren entwickelt werden, die bestimmte Anforderungen erfüllen. Moderne Verfahren werden deshalb heutzutage hinsichtlich der Testgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität untersucht. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Geräte geschaffen, die in der Lage sind, den Gewebewiderstand und, daraus resultierend, die Gewebespannung non-invasiv und in vivo zu quantifizieren (Murayama et al. 2000, Leonard et al. 2004, Arokoski et al. 2005, Korhonen et al. 2005, Ylinen et al. 2006). Myotonometrie auf der Grundlage unterschiedlichster Technologien wurde in zahlreichen Studien untersucht, dabei stellte sie sich als valides und reliables klinisches und Forschungsinstrument zur Evaluierung der Gewebespannung heraus. Leonard et al. wiesen in ihren Studien eine hohe bis sehr hohe Intra- und

Interraterreliabilität des *Myotonometers* nach. Dank der einfachen, schnellen Anwendung eignet es sich optimal für den klinischen Gebrauch. Zugleich ist die Testung unabhängig von Konfoundern, wie z.B. der Kraft und klinischen Erfahrung des Untersuchers und höherer Schmerzangabe des Patienten (Leonard et al. 2003, Aarrestad et al. 2004). Weiterhin zeigte Leonard mit einer anderen Arbeitsgruppe, dass EMG und das *Myotonometer* eine hohe Korrelation besitzen und das *Myotonometer* somit als objektives Mittel zur nicht-invasiven und schnellen Erfassung von Änderungen der ruhenden wie auch der aktivierten Muskelaktivität geeignet ist (Leonard et al. 2004). Nach Buchmann et al. scheint das *Tissue Tensiometer*, das wir für unsere Messungen benutzten, ebenfalls ein valides Gerät zur Objektivierung palpabler Triggerpunkte zu Studienzwecken sowie zur Messung von Therapieerfolgen zu sein (Buchmann et al. 2007). Eine Arbeit von 2013 kommt jedoch zu dem Schluss, dass sowohl die Objektivität als auch die Test-Retest-Reliabilität (Wiederholung des Tests nach einer bestimmten Zeitspanne) und die Interrater-Reliabilität (unterschiedliche Untersucher) des Gerätes nicht ausreichend seien (Zschiegner 2013). Zu beachten bei Messungen des Muskeltonus ist ebenfalls, dass dieser abhängig von der Tagesform und anderen Konfoundern, z.B. Stress, sein kann und somit ein sehr anfälliger Parameter ist.

Unter Zuhilfenahme des *Tissue Tensiometer* wurde die Gewebespannung am myofaszialen Triggerpunkt TrP₂ des M. trapezius (Pars transversa) vermessen. Dabei stellte sich in der Gesamtlasertherapiegruppe keine signifikante Verminderung des Muskeltonus heraus. Die fehlende Spannungsabnahme der Muskulatur könnte mit der zuvor genannten geringen Test-Retest-Reliabilität, die dieses Instrument aufweist, begründet werden. Auch bei unseren Messungen zeigten sich die bereits in der Promotionsarbeit von Zschiegner beschriebenen Schwierigkeiten im Umgang mit dem Gerät, da es während der Messungen häufiger zu Fehlermeldungen kam und sehr oft Messwiederholungen durch negative Kurvenverläufe oder das Aufzeichnen von Kurven, obwohl die Messung noch gar nicht begonnen hatte, notwendig wurden. Das Gerät kann also nach Aussagen Zschiegners „[...] als Diagnoseunterstützung sowie für die Verlaufskontrolle empfohlen werden [...], sollte jedoch nicht als alleiniges diagnostisches Mittel verwendet werden [...]“ (Zschiegner 2013).

Zur standardisierten Ermittlung der Druckschmerzschwelle, die, wie auch die Messungen mit dem TTM, kontinuierlich zur Verlaufskontrolle während der Studie

durchgeführt wurde, wurde das *Pressure Threshold Meter* (PTM) eingesetzt. Dieses besitzt laut Park et al. eine hohe Reliabilität und eignet sich zur Therapieeffektmessung, wegen seiner geringen Sensitivität aber nicht zur Diagnosestellung oder als Screening-Methode für muskuloskelettale Schmerzen und myofasziale Schmerzsyndrome (Park et al. 2011). Unsere Patienten lagen über der von Lautenschläger et al. angenommenen Schwelle von $2,0\text{kp/cm}^2$, ab der von einer pathologischen Druckalgometrie ausgegangen werden kann (Lautenschläger et al. 1988). Im Verlauf der Studie konnte eine Schmerzschwellenerhöhung und damit eine verminderte Druckalgometrie für den M. trapezius rechts auf Signifikanzniveau ($p \leq 0,05$) festgestellt werden. Diese Tendenz ließ sich auf der linken Seite des betreffenden Muskels nicht bestätigen. Eine Erklärung dafür könnte möglicherweise die Händigkeit und die jeweilige beruflich ausgeübte Tätigkeit der Patienten bieten. Motorische Asymmetrien sind am stärksten bei der Händigkeit zu beobachten. Im Umkehrschluss sind so auch Asymmetrien in der orientierenden Bewegungsuntersuchung durch die Händigkeit zu erklären (Reiss und Reiss 2000). Man kann davon ausgehen, dass aufgrund dieser Faktoren die Nackenmuskulatur nie vollkommen symmetrisch beansprucht wird, was zur Ausbildung muskulärer Dysbalancen und Schmerzen führt. So könnten Verspannungen auf der Seite, die zu Beginn vermehrt belastet war, signifikant reduziert werden, während auf der anderen, weniger beanspruchten Seite eine geringere und damit nicht signifikante Änderung zu finden ist. Die Untersuchung der Händigkeit und die anamnestische Erhebung der Arbeitsstelle wurden in unser Studienschema nicht mit einbezogen.

Zur subjektiven Einschätzung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität wurde der SF-12 verwendet. Es war eine signifikante Verbesserung des körperlichen Befindens zu vermerken. Dabei lagen unsere Patienten bereits zu Beginn der Studie lediglich im grenzwertig pathologischen Bereich, denn Werte um 50 ± 10 Punkte bedeuten ein durchschnittlich gutes subjektives Wohlbefinden, da der Fragebogen auf einen Mittelwert von 50 Skaleneinheiten transformiert wird (Bullinger et al. 1995). Somit kam es im Studienverlauf zu einer statistisch relevanten Verbesserung hin zum sicheren gesunden Bereich. Tendenziell erfassbar war auch die Zunahme des psychischen Summenscores, hier lag jedoch keine signifikante Veränderung der Daten vor. Schon zu Studienbeginn lag das psychische Wohlbefinden unserer Patienten mit einem Median von über 51 Punkten im durchschnittlich sehr guten

Bereich. Neben der von uns durchgeführten Lasertherapie wirken viele weitere Aspekte auf den Patienten ein, wodurch die psychische Gesundheit auch von vielfältigen anderen Umständen, z.B. emotionalen Geschehnissen, beeinflusst werden kann.

Die Vielfältigkeit wird in der Stadieneinteilung des Schmerzes nach Gerbershagen berücksichtigt, da man neben einer zeitlichen (akuter vs. chronischer Schmerzverlauf) und einer räumlichen Komponente (Schmerzlokalisation) auch die Häufigkeit der Beanspruchung der Einrichtungen des Gesundheitswesens und psychosoziale Belastungsfaktoren einbezieht (Gerbershagen et al. 1986).

Der spezifische Gesundheitszustand der Halswirbelsäule, gemessen mittels *Neck Disability Index* (NDI), zeigte eine Reduktion der Einschränkungen auf dem Signifikanzniveau $p \leq 0,05$. Vergleichende Studien verwendeten den *Oswestry-Low-Back-Pain-Index* (OLBPDQ), der den Vorläufer bzw. das Pendant für den unteren Rückenabschnitt des NDI darstellt. Fiore et al. fanden mithilfe von High-Intensity-Lasertherapie (HILT) eine Verbesserung Lendenwirbelsäulen-assoziiierter Behinderungen, verglichen mit einer Gruppe, die mit Ultraschall behandelt wurde (Fiore et al. 2011). Eine Studie von Özdemir et al. nutzte die *Neck Pain and Disability Scale* (NPDS), die 1999 von Wheeler entwickelt worden war (Wheeler et al. 1999), und bewies damit eine signifikante Verbesserung des nackenspezifischen Gesundheitszustands durch Low-Power-Lasertherapie gegenüber Placebo-Wirkung, bei der keine Veränderung des NPDS beobachtet werden konnte (Özdemir et al. 2001). Alle vorliegenden Studien kommen demnach zu dem gleichen Ergebnis, das auch wir in unserer Studie aufzeigen können.

6.3 Änderungen in den beiden Interventionsgruppen (HLLT und LLLT)

Bei der Aufschlüsselung in die einzelnen Behandlungsgruppen fiel für die Hardlaserpopulation eine Reduktion der oberen gekreuzten Syndrome von sieben auf drei Betroffene auf ($p \leq 0,05$). Eine tendenzielle Verminderung der Anzahl der uGS wird ebenfalls sichtbar (T0: acht, T4: sechs Personen), die aber nicht auf Signifikanzniveau verifiziert werden konnte. Auch das deutet auf eine zuvor bereits für die Gesamtlaserkohorte erwähnte Änderung der Muskelbalance im oberen thorakalen Abschnitt durch die Hardlaserintervention hin. Das Syndrom ist jedoch in

Kombination mit weiteren diagnostischen Tests zu sehen. Die zuvor in der Gesamttherapiegruppe gezeigte Verbesserung der HWS-Beweglichkeit konnte ebenfalls in der High-Intensity-Laser-Therapiepopulation auf Signifikanzniveau ($p \leq 0,05$) nachgewiesen werden.

Bei den Funktionsparametern (Schober, FBA und KJA) gibt es keine bewertbaren Veränderungen. Diese sind bei einer Monotherapie mit Laser in der Zervikalregion wahrscheinlich auch nicht zu erwarten, da sie einer zu großen Streuung und zu vielen, außerhalb der HWS-Region einwirkenden Faktoren unterliegen, z.B. bestehenden Funktionsstörungen in den Schlüsselregionen lumbosakraler Übergang mit ISG, thorakolumbalen Übergang, zervikothorakaler Übergang und Kopfgelenke. Die Beeinflussung des Muskeltonus durch Laser im HWS-Bereich muss somit nicht zwingend eine Änderung der Funktionsstörung nach sich ziehen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, ob eine Kombinationstherapie aus Laser und z.B. MT in den entsprechenden funktionsgestörten Arealen eine signifikante Besserung der Funktionsparameter erzielen kann. Dies sollte in Folgestudien untersucht werden und als Fragestellung auf den Gesamttherapieerfolg, vor allem auf die Schmerzreduktion, ausgeweitet werden. Im Falle der multimodalen Schmerztherapie bei chronischen Schmerzpatienten findet eine interdisziplinäre Behandlung auf der Basis des biopsychosozialen Modells bereits Anwendung. Dabei stehen medizinische Behandlung, Edukation, körperliche Aktivierung, Psychotherapie und Ergotherapie als gleichwertige Therapiemaßnahmen zur Verfügung. Multifaktorielle Erkrankungen, wie z.B. das Krankheitsbild der chronischen Nackenschmerzen, sind durch eine Monotherapie nur selten kurierbar. Hinsichtlich der medizinischen Behandlung ist es jedoch notwendig, zunächst die in unserer Studie getestete Wirksamkeit des Monotherapeutikums Laser ausreichend zu evaluieren und hinsichtlich der Gütekriterien einzuschätzen, bevor nach denkbaren Kombinationsmöglichkeiten gesucht werden kann, die zu einer weiteren Therapieverbesserung bei multifaktorieller Genese beitragen.

Bezüglich der Bewegungsfunktionsstörungen der HWS konnte mit dem Hardlaser eine signifikante Verminderung von Funktionsstörungen und Schmerzen bei der Lateralflexion des Kopfes nach rechts festgestellt werden, weiterhin eine solitäre Schmerzreduktion der Lateralflexion nach links. Wie in der Gesamtlasertherapiegruppe hat die HILT keinen Einfluss auf die Minimierung von

Bewegungsfunktionsstörungen der BWS und LWS und ist somit in dieser Hinsicht als eine lokale Therapiemethode anzusehen. Leider liegen auch hierzu nur Vergleiche aus anderen mit HLL behandelten Regionen vor. Santamato et al. stellten bei ihren Untersuchungen zur Therapie des Impingement-Syndroms mit einem High-Intensity-Laser versus Ultraschall eine statistisch relevante Verbesserung der Schultergelenksbeweglichkeit (ROM) fest (Santamato et al. 2009). Andere Studien setzten lediglich die *Visuelle Analogskala* als Studienendpunkt ein. Hinsichtlich der subjektiven Schmerzeinschätzung in der Nackenregion bestätigte sich die zuvor für die Gesamtbehandlungsgruppe festgestellte signifikante Reduktion von 40 auf 10 Skalenpunkte eine Woche nach Therapieende und auf 30 Punkte zur abschließenden Untersuchung. Der große Interquartilsabstand deutet auch hier wieder auf eine deutliche Streuung der Schmerz Wahrnehmung bei den getesteten Patienten hin. Anhand des Verlaufs der Schmerzminderung, gemessen mittels VAS, lässt sich abschätzen, dass die HILT einen kurzfristigen Effekt direkt nach Therapiebeendigung bis eine Woche nach Interventionsende aufweist, dieser jedoch 4 Wochen danach wieder nachlässt. Zu untersuchen wäre in diesem Fall, ob eine mehrwöchige Lasertherapie zu einer länger anhaltenden schmerzreduzierten bzw. in einigen Fällen schmerzfreien Phase führt. Die anschließend aufgeführten Studien handelten jeweils nach einem zwei- bzw. dreiwöchigen Therapieregime, jedoch realisierte keine dieser Arbeiten ein Follow-up, sodass bei den nachfolgend genannten Ergebnissen lediglich von einem Kurzzeiteffekt auszugehen ist. Fiore et al. konnten eine signifikante Schmerzverminderung, gemessen anhand der VAS, durch eine Intervention mit insgesamt 15 High-Level Laserbehandlungen über drei Wochen (fünf Tage/ Woche) bei Rückenbeschwerden festhalten (Fiore et al. 2011). Außerdem wiesen auch Santamato et al. bei ihren Untersuchungen zur zweiwöchigen HLL-Intervention (10 Behandlungen über zwei Wochen) beim subakromialen Impingement-Syndrom eine Schmerzreduktion auf Signifikanzniveau nach (Santamato et al. 2009). Štiglic-Rogoznica et al. zeigten an einer Knie-Osteoarthritis-(KOA)-Patientenklientel mit 10-tägiger Laserapplikation (einmal/Tag) eine statistisch signifikante Verminderung der Schmerzintensität ($p < 0,001$), gemessen anhand der VAS, im Bereich des behandelten Knies auf und wiesen eine prompte analgetische Wirkung durch HILT bei KOA nach. Sie schlussfolgerten aufgrund ihrer Studienergebnisse, dass Hardlasertherapie eine reliable Option zur physikalischen Behandlung bei KOA darstellt (Štiglic-Rogoznica et al. 2011). Alle drei

Studien unterschieden dabei nicht in regionales und globales Schmerzempfinden, wie es bei uns der Fall war. Hinsichtlich der globalen Schmerzeinschätzung fand sich keine Änderung. Folglich lässt sich wie schon bei der Gesamtgruppe festhalten, dass HLLT keinen Einfluss auf das Schmerzgeschehen im Ganzen betrachtet hat und dass viele Konfounder, wie zuvor durchgeführte körperliche Arbeiten und psychische Faktoren, z.B. Stress, zur Gesamtkörperschmerzwahrnehmung führen.

Bedeutsam beim Einsatz der Lasertherapie sind die zu applizierende Dosis sowie die Häufigkeit und Frequenz der Behandlungen (Serie). Fischer verglich in einer Studie mit dem auch von uns verwendeten *OptonPro*-Laser die Wirkungen der Verummodi 1 Watt kontinuierlich und 4 Watt konstant oder gepulst appliziert vs. Placebo-Laserstrahls an gesunden Personen bezüglich Temperatur- und Empfindungsveränderungen. Es stellte sich heraus, dass eine kontinuierliche, punktuelle Applikation an ausgewählten Triggerpunkten mit 1 Watt zu empfehlen ist, da sie die gleichen Effekte wie die beiden Vergleichsmodi (4 Watt gepulst oder konstant) erbrachte und hinsichtlich unangenehmer Empfindungseindrücke von den Probanden am besten akzeptiert wurde (Fischer 2009).

Durch Best et al. wurden 2010 erste Therapieempfehlungen erstellt und Anwendungserfahrungen mit dem High-Intensity-Level-Laser gesammelt, da nur wenige italienische Studien zum Leistungslaser vorliegen. Bei der Behandlung von 120 Patienten mit muskuloskelettalen Beschwerden mit 7 Watt dynamisch gab es keine Nebenwirkungen wie thermische Läsionen oder Befundverschlechterungen. Patienten mit reinen Muskelverletzungen reagierten sehr gut auf die Intervention mit HLL. In der Gruppe der Sehnen-Bänder-Verletzungen konnte ebenfalls ein gutes Ansprechverhalten auf den Leistungslaser nachgewiesen werden, hier musste bei Behandlung in Sprunggelenks- und Handbereich jedoch wegen einer postinterventionellen Schmerzverstärkung auf eine Leistung von 4 Watt und unveränderter Gesamtenergie von 3000 Joule gesenkt werden (Best et al. 2010). Auf der Basis dieser von Best et al. gesammelten Ergebnisse entschieden wir uns ebenfalls für die Applikation von 7W, weil es sich vorwiegend um myofasziale Schmerzpatienten handelt. Aufgrund der Wärmeentwicklung dieser Energiedosis war es dabei nicht möglich, eine punktuelle Lasertherapie, wie von Fischer empfohlen, durchzuführen, sodass dynamisch appliziert wurde. Die Applikation von 1W hielten wir für zu gering, um einen möglichen Unterschied zur Gruppe der mit

LLL therapierten Patienten zu erarbeiten.

Unter den sonst noch untersuchten Parametern boten sich bezüglich der Feststellung von muskulären Dysbalancen und Schmerzen Unterschiede vor und nach erfolgter Hardlasertherapie. Demnach konnte hinsichtlich des anfangs fast zu 100% hypertonen und in drei Viertel der Fälle schmerzhaften M. trapezius eine Verminderung dieser beiden Zustände auf einem Signifikanzniveau $p \leq 0,05$ erreicht werden. Für die Subokzipital-/Nackenmuskulatur stellte sich eine statistisch relevante Schmerzlinderung heraus, dazu zeigte sich eine Hypertonusreduktion des M. sternocleidomastoideus von neun auf vier Betroffene. Auch bei allen anderen untersuchten Muskeln und Muskelgruppen (M. masseter, M. temporalis, infra- und suprahyoidale Muskulatur) ist eine tendenzielle Abnahme der hypertonen Verhältnisse sowie der Schmerzen zu erkennen, hier konnte jedoch kein statistisch signifikanter Nachweis erbracht werden. Die HILT scheint somit einen Einfluss auf muskuläre Dysbalancen und damit verbundene Schmerzzustände zu haben und diese lösen zu können. Mithilfe des TTM stellte sich eine signifikante Muskelspannungsreduktion des M. trapezius rechts heraus, die allerdings kontralateral nicht bestätigt werden konnte. Ähnlich verhielt es sich mit den durch das *Pressure Threshold Meter* ermittelten Werten; hier zeigte sich ebenfalls einseitig eine signifikante Schmerzschwellenanhebung des M. trapezius links, die rechts nicht nachgewiesen werden konnte. Leider liegen hierzu keine Vergleichsstudien vor, denen unsere Ergebnisse gegenübergestellt werden könnten. Dieser Trend ist jedoch als sehr kritisch zu bewerten, da sowohl für die Messung der Gewebespannung als auch für die Druckalgometrie jeweils nur eine Seite statistisch signifikant war. An dieser Stelle könnten wiederum die zuvor bereits diskutierten Überlegungen zur Händigkeit und die damit verbundene asymmetrische Beanspruchung der Nackenmuskulatur eine Rolle spielen.

Eine Verbesserung der körperlichen Gesundheit durch High-Level-Laser wurde anhand des *SF-12 Health Survey* wie schon für die Gesamtlaserbehandlungsgruppe belegt. Dabei stieg der körperliche Summenscore ($p < 0,05$), während der mentale Komponentenscore PS keine Verbesserung auf Signifikanzniveau offenlegte. Dies wurde bei der Gesamttherapiegruppe bereits diskutiert. Der *Neck Disability Index* (NDI) wies eine signifikante Reduktion der HWS-spezifischen Einschränkungen durch Hardlasertherapie auf. Wie schon zuvor erwähnt, nutzten Fiore et al. in ihrer

Vergleichsstudie HILT versus Ultraschalltherapie den *Oswestry-Low-Back-Pain-Index* (OLBPDQ), wiesen damit eine Besserung rügenspezifischer Behinderungen verglichen mit der Ultraschallinterventionsgruppe nach (Fiore et al. 2011) und gelangten somit zum gleichen Ergebnis, das auch wir in unserer Studie aufzeigen können. Alayat et al. untersuchten die Langzeiteffekte der High-Intensity-Lasertherapie bei Patienten mit chronischen Rückenschmerzen. Dabei teilten sie ihre Probanden in drei Gruppen ein, zum einen eine HLL-Behandlungseinheit zusammen mit rügenspezifischen Kräftigungsübungen, zum anderen Placebo-Laserstrahlen in Verbindung mit Übungen und zuletzt eine Therapie mit alleinigem Hardlaser. Es stellte sich heraus, dass HILT in Kombination mit Übungen die effektivste Therapieoption hinsichtlich des lumbalen Bewegungsausmaßes (ROM) sei, denn sie hielt bis zu vier Wochen nach der Behandlung an. Danach kam es zu einem signifikanten Abfall der Beweglichkeit in der Lendenwirbelsäule, wodurch auf einen Kurzeiteffekt, nicht jedoch auf Langzeitwirkungen des HLL in Verbindung mit Kräftigungsübungen zu schließen ist. Eine Reduktion von Schmerzen (VAS) und rügenspezifischen Outcomes (RDQ, MODQ) konnte in allen Interventionsgruppen nachgewiesen werden (Alayat et al. 2013). Die in dieser Studie dargestellten Ergebnisse entsprechen auch unserer Wahrnehmung.

In der Low-Level-Lasertherapiegruppe ergaben sich in Bezug auf die generelle Statik und die allgemeinen Bewegungsausmaße keinerlei statistisch bedeutende Veränderungen. Auch für eine Verbesserung des Bewegungsumfanges der HWS in Rotation konnte kein Beweis erbracht werden. Im Bereich der Halswirbelsäule fand sich eine kombinierte Verminderung der Funktionsstörungen und des Schmerzes bei der Lateralflexion nach links, alle anderen Testungen hinsichtlich Bewegungsfunktionseinschränkungen und daraus resultierenden Schmerzen der HWS blieben statistisch unauffällig. Muskuläre Dysbalancen des M. trapezius und solche der Subokzipital-/Nackermuskulatur konnten hinsichtlich der Schmerzeinschätzung signifikant reduziert werden. Auffällig ist jedoch, dass die Softlaserbehandlung keinen Einfluss auf die Verminderung der Spannung zu haben scheint, wie sie hingegen bei der Therapie mit Hardlaser beobachtet werden konnte. Es bestätigte sich eine signifikante Reduktion des subjektiven Schmerzempfindens in der Regio cervicalis posterior ($p \leq 0,05$). Einen Einfluss auf das Gesamtkörperschmerzempfinden hatte auch diese Laserapplikationsform nicht.

Die Wirksamkeit von Low-Level-Lasertherapie wird weiterhin kontrovers diskutiert, auch wenn sich Studiendaten häufen, die von einer positiven analgetischen, antiinflammatorischen und regenerativen Wirkung dieser Lasertherapieform zeugen. Hakgüder et al. beschrieben 2003 anhand algometrischer und thermographischer Verfahren, dass LLLT einen vorteilhaften Effekt auf Schmerzen im Sinne eines myofaszialen Schmerzsyndroms (MPS) in der Nacken- bzw. oberen Rückenregion hat. Dabei wurde die Softlasertherapie mit Dehnungsübungen verknüpft und mit einer Kontrollgruppe verglichen, die lediglich Dehnungsübungen als Behandlung erhielt. Bei den MPS-Patienten zeigte sich eine signifikante Schmerzlinderung, gemessen mit der VAS und Algometrie an schmerzhaften Triggerpunkten (Hakgüder et al. 2003). Dundar et al. überprüften 2003 ebenfalls die Wirksamkeit der LLLT im Management des zervikalen myofaszialen Schmerzsyndroms. Bei der einen Gruppe wurde Lasertherapie mit einer Wellenlänge von 830nm an 15 Tagen, verteilt über drei Wochen, durchgeführt, während in der zweiten Gruppe der Laser vor der Behandlung ausgeschaltet wurde. Beide Gruppen erhielten Kräftigungs- und Dehnungsübungen für den Nackenbereich. Schmerzen und das HWS-Beweglichkeitsausmaß wurden nach vier Wochen kontrolliert und in beiden Gruppen zeigte sich eine signifikante Verbesserung der genannten Zielparameter bei einem fehlenden statistisch relevanten Gruppenunterschied. Folglich erzielten die Placebo-Laserstrahlen den gleichen Effekt wie eine wirklich ausgeführte Therapie (Dundar et al. 2007). An diesen beiden zuletzt genannten Arbeiten wird die Kontroversität der Thematik deutlich, denn zum einen belegen die Studienergebnisse, dass ein Unterschied zu Kontrollgruppen besteht, und zum anderen ist die Placebo-Gruppe in ihren Ergebnissen der Interventionsgruppe gleichzusetzen.

Um eine gesamtheitliche Aussage zu erzielen, kann man die zur Thematik erhobenen Reviews bzw. Metaanalysen betrachten: Eine bereits 1992 durchgeführte Metaanalyse zur Effektivität von LLLT ergab, dass Studien mit einem positiven Outcome generell eine bessere Qualität aufwiesen als jene mit einem negativen Outcome. Dabei wurde schon damals versucht, einen Rückschluss von applizierter Laserdosis auf die daraus resultierende Effektivität bei Hauterkrankungen zu ziehen, dies konnte jedoch in keinen klaren Zusammenhang gebracht werden. Im Durchschnitt schien die Wirksamkeit der Lasertherapie bei muskuloskelettalen Erkrankungen größer zu sein als die der Placebo-Behandlungseinheit. Resümierend stellten die Autoren fest, dass Lasertherapie bei rheumatoider Arthritis, posttraumatischen Gelenkbeschwerden und

myofaszialen Schmerzen einen substantiellen therapeutischen Wert besitzt (Beckerman et al. 1992).

De Bie stellte in einem 1998 erschienenen Review fest, dass kein klarer Beweis für die Effektivität von LLLT mit einer Wellenlänge von 904nm gefunden werden konnte (de Bie et al. 1998). Ein 2007 veröffentlichtes Review (88 RCTs untersucht) von Gross et al. analysierte das konservative Management mechanischer Erkrankungen des Nackens. Dabei zeigte die LLLT entweder einen mittleren oder sogar Langzeitnutzen hinsichtlich der Schmerzreduktion, wobei bereits auf eine zukünftige Exploration der optimalen Dosierung hingewiesen wurde (Gross et al. 2007).

Eine Metaanalyse von Chow et al. kam zwei Jahre später ebenfalls zu dem Schluss, dass LLLT Schmerzen im Nackenbereich reduziert. Hier wurde vor allem die Unterscheidung in akute und chronische Schmerzsymptomatik favorisiert. Akute Nackenschmerzen konnten sofort und chronische bis 22 Wochen nach Therapieende verringert werden (Chow et al. 2009).

Die australische Arbeitsgruppe um Leaver erforschte wiederum konservative Interventionen und deren Auswirkung auf kurz- und mittelfristige Schmerzminderungen. Die Behandlung mit Softlaser resultierte dabei interessanterweise in einer Verbesserung der mittelfristigen (näherungsweise sechs Monate nach Therapiestopp), nicht aber der kurzfristigen Schmerzreduktion, die als kleiner drei Monate definiert wurde. Wir hingegen konnten bereits direkt nach Beendigung der LLLT bis vier Wochen später eine Linderung der Schmerzproblematik im Nackenbereich feststellen. Über Langzeiteffekte, länger als neun Monate Abstand zur Behandlung, traf keine Studie eine Aussage (Leaver et al. 2010).

Eine weitere Studie aus dem Jahr 2010 stellte die Frage, ob LLLT bei akuten oder chronischen Rückenschmerzen (gleich) effektiv sei. Sie teilten die zu untersuchenden Patienten in eine akute und eine chronische Gruppe ein, dabei erfolgte eine weitere Trennung in reale und Placebo-Lasertherapie, sodass sich vier Gruppen ergaben. Im Ergebnis zeigte sich in allen vier Gruppen eine Verbesserung der Schmerzeinschätzung (gemessen anhand der VAS), des lumbalen Beweglichkeitsausmaßes (ROM), des *Roland Disability Questionnaire* (RDQ) sowie des *Modified Oswestry Disability Questionnaire* (MODQ). Also scheint Softlasertherapie auf akute wie auch auf chronische Schmerzen einen positiven Einfluss zu nehmen. Interessant daran ist aber, dass kein signifikanter Unterschied zwischen der Behandlungs- und der Placebo-Gruppe hergestellt werden konnte (Ay et

al. 2010). Manca et al. untersuchten Patienten, die bei myofasziellen Triggerpunkten des M. trapezius ascendens mit Ultraschall oder Low-Intensity-Laser (jeweils als Placebo und wirkliche Therapie) behandelt wurden. Es konnte zwar eine Besserung des Schmerzes und der muskulären Dehnbarkeit gegenüber einer Gruppe, die keine Behandlung erfuhr, beobachtet werden, jedoch nicht gegenüber den mit Placebo therapierten Patienten. Die Autoren hegen Bedenken, sowohl ökonomischen als auch ethischen Ursprungs, ob Ultraschall und LLLT als Stand-alone-Therapien bei aktiven myofasziellen Triggerpunkten des M. trapezius ascendens (Manca et al. 2013) angemessen sei.

Yavuz et al. wiederum verglichen Ultraschall- mit Softlasertherapie über 10 Tage (fünf Behandlungen pro Woche), diesmal bei Patienten mit subakromialem Impingementsyndrom und gelangten zu dem Ergebnis, dass beide Behandlungsmöglichkeiten gleich wirksam auf die Schmerzminderung und die Reduktion von funktionellen Störungen sind, somit keine Überlegenheit der Lasertherapie besteht und dass LLLT aus diesem Grund vor allem bei Patienten eingesetzt werden sollte, bei denen eine Kontraindikation hinsichtlich des Nutzens des Ultraschalls besteht (Yavuz et al. 2013).

Die applizierte Wellenlänge sowie die Dosis spielen wahrscheinlich ebenfalls eine entscheidende Rolle. Gross et al. beschrieben in ihrer Metaanalyse für Softlaser, die mit 780nm arbeiteten, eine Verminderung chronischer Nackenschmerzen, während für LLL, die einen Wellenlängenbereich von 830nm oder 904nm aufwiesen, kein Nutzen der Therapie betreffs der Schmerzreduktion nachgewiesen werden konnte. Damit ergibt sich für die Zukunft die Notwendigkeit der Untersuchung unterschiedlicher Lasertypen, um das Verständnis für die Wahl der richtigen Wellenlänge und Dosierung zu schulen (Gross et al. 2013). Mit einer für unsere Arbeit verwendeten LLL-Wellenlänge von 785nm decken sich unsere Studienergebnisse mit den Beschreibungen von Gross et al., dass in diesem Infrarotspektrum eine Schmerzlinderung erzielt werden kann. Die Feststellung der Gewebespannung mittels TTM blieb ohne relevanten Nachweis einer Muskelspannungsreduktion des M. trapezius. Hierzu liegen leider keine Vergleichsdaten vor. Die Druckalgometrie mit dem *Pressure Threshold Meter* zeigte eine signifikante Schmerzschwellenanhebung des M. trapezius rechts, die linksseitig nicht bestätigt werden konnte.

Die oben erwähnte Studie von Hakgüder et al. prüfte die Schmerzintensität neben

VAS auch mit Algometrie an Triggerpunkten in der Nackenregion und kam zu dem Schluss, dass es eine statistisch relevante Verbesserung der Algometriedifferenz von prä- zu posttherapeutisch gab und dass diese im Gruppenvergleich (Gruppe 1: LLLT und Dehnungsübungen, Gruppe 2: nur Dehnungsübungen) signifikant besser war. Die eingangs bei der Wirkungsweise des Softlasers unter 2.5.3 aufgeführte Erhöhung der Druckschmerz-Nervenreizschwelle, die laut Füchtenbusch und Bringmann zur Analgesie durch LLLT beiträgt, konnte nur bedingt bestätigt werden, da bloß die rechte Seite des M. trapezius eine signifikante Druckalgometrieverbesserung zeigte. Von Interesse ist das Ergebnis des *SF-12 Health Survey*: Im Gegensatz zur Hard- und Gesamtlaserpopulation war keine statistisch relevante Verbesserung des körperlichen Summenscores, dafür aber eine signifikante Erhöhung der physischen Komponentenskala (PS) zu vermerken. Hierbei ist festzustellen, dass die Nackenschmerzpatienten bereits zu Beginn der Studie im Normbereich für einen guten Gesundheitszustand lagen (Norm: 50 ± 10 Skalenpunkte) und dieser sich im Studienverlauf zu überdurchschnittlich guten Werten entwickelt hat. Zu diskutieren ist, inwieweit aufgrund der durchgeführten Softlasertherapie ein psychischer Effekt auf den Schmerz und die damit verbundene Lebensqualität eine Rolle spielt. Der NDI demonstrierte wie schon zuvor für die Gesamtlaser- und HLLT-Gruppe einen statistisch signifikanten Abfall der HWS-assozierten ($p < 0,001$).

6.4 Unterschiede zwischen den beiden Laserinterventionen

Bezüglich der allgemeinen Statik zeigte sich nur in der HLL-Gruppe eine signifikante Verminderung der Betroffenen eines oberen gekreuzten Syndroms im Prozess der Studienbeobachtung vom Aufnahme- bis hin zum Nachbeobachtungstermin vier Wochen nach Therapieende. Dazu muss jedoch gesagt werden, dass dies nur für den Verlauf in dieser Interventionsgruppe anzusehen ist und sich im angeschlossenen statistischen Test zum direkten Gruppenvergleich (LLL vs. HLL) keine Überlegenheit des Hardlasers gegenüber dem Low-Level-Laser offenbarte. So kann man nicht davon sprechen, dass der Hardlaser hinsichtlich der Abnahme von ogS signifikant besser ist als der Softlaser. Allerdings deutet diese Verlaufstendenz in der HILT-Einheit auf eine Änderung der Muskelbalance hin. Ein weiterer Hinweis dafür ist die Reduzierung von hypertonen Muskelzuständen des M. trapezius und des M. sternocleidomastoideus, die nur in dieser Interventionsgruppe auffällig wurde.

Dahingegen konnte mit dem LLL lediglich eine Schmerzminderung bei dem M. trapezius und der Subokzipital-/Nackermuskulatur erzielt werden. Daher ist zu überlegen, ob die beiden Laserformen auf unterschiedlichen Wirkungsmechanismen basieren, sodass der HLL neben der oberflächennahen Analgesie (980nm-Anteil) vor allem über die Tiefenwirksamkeit des 810nm-Anteils und die damit verbundene Beschleunigung des Energiestoffwechsels in der Atmungskette der Zellen eher einen Einfluss auf die Gewebespannung und darüber hinaus auf die Schmerzreduktion ausübt, der Softlaser demgegenüber aber, wie in der Literatur beschrieben, über einen sofortigen analgetischen Effekt durch Modulierung pro- und antiinflammatorischer Zytokine wirkt. Eine Forschungsgruppe um Fukuda fand eine verminderte Ausschüttung der proinflammatorischen Zytokine TNF- α und IFN- γ im tierexperimentellen Versuch (Fukuda et al. 2013). Bereits 2006 zeigte man Placebo-kontrolliert eine Verminderung der Prostaglandin E₂-Ausschüttung 75, 90 und 105 Minuten und damit eine herabgesetzte Inflammationsreaktion nach Softlaserapplikation (5,4J pro Punkt) bei aktiver Achilles-Tendinitis. Im Vergleich zur Placebo-Gruppe ergab sich ebenfalls eine signifikante Erhöhung der Druckschmerzschwelle (Bjordal et al. 2006). Als Limitation dieser Studie ist festzustellen, dass lediglich Kurzzeit-, nicht jedoch Langzeiteffekte untersucht wurden. Des Weiteren konnte an einem In-vitro-Modell eine Stimulation der Migration von Tendozyten, die zur Reparatur bei sportassoziierten Tendopathien oder Sehnenverletzungen benötigt wird, vermittelt durch Hoch-Regulierung von Dynamin II, nachgewiesen werden (Tsai et al. 2012). An einem Tiermodell mit Ratten zur Heilung von Sehnen wurden die Erhöhung der Matrixmetalloproteinasen (MMP) und die Stimulation der Kollagensynthese durch LLLT beobachtet. Dabei erwies sich eine gepulste Laserstrahlapplikation als am wirkungsvollsten (Guerra et al. 2013). Eine 2014 erschienene Arbeit um ein brasilianisches Team überprüfte die Auswirkungen der Softlasertherapie vor und nach Übungen des M. quadriceps auf den Serumlaktat- und Kreatinkinaseanstieg. Sowohl vor als auch nach Belastung des Muskels applizierte Low-Level-Lasertherapie reduzierte den Anstieg des Serumlaktats sowie der CK signifikant, wobei die Änderung nach Erschöpfung des Muskels durch Übungsausführung deutlicher war. Auch diese Ergebnisse weisen auf einen zugunsten der Regeneration des Muskels veränderten Stoffmetabolismus hin. Somit scheinen sowohl am Tiermodell als auch in vivo am Menschen einige gute Ansätze zur Identifizierung der Wirkungsweise des Low-Level-Lasers zu bestehen. Dabei

muss die Übertragbarkeit der gefundenen Ergebnisse auf das menschliche Wesen überprüft werden.

Hinsichtlich der Wirbelsäulenbeweglichkeit wurde in beiden Gruppen keine Verbesserung der allgemeinen Bewegungsausmaße Schober, FBA und KJA ermittelt. Demgegenüber ergab sich im Verlauf vom Aufnahme- zum Follow-up-Termin eine signifikante Erhöhung der HWS-Rotationsbeweglichkeit in der HLL-Gruppe, die in der LLL-Kohorte nicht auffiel. In diesem Fall konnte ein signifikanter Mittelwertunterschied im Gruppenvergleich zwischen LLLT und HLLT zu den Zeitpunkten T0, T3 und T4 nachgewiesen werden, während zur T1 und T2, d.h. direkt vor Beginn und nach Ende der jeweiligen Intervention, kein Unterschied festgestellt werden konnte. Die Gruppen sind damit zu Beginn der Untersuchungen hinsichtlich der HWS-Beweglichkeit heterogen, gleichen sich jedoch zu den Zeitpunkten T1 und T2 an, um sich zum Schluss zu den beiden Nachkontrollterminen relevant voneinander zu unterscheiden. Diese Aussagen sind aufgrund der Anfangsheterogenität kritisch zu betrachten.

Ein tschechisches Team beurteilte in einer der wenigen Studien über den Vergleich von High-Intensity-Laser mit Low-Level-Laser Störungen des Stütz- und Bewegungssystems, jedoch vorwiegend unter ökonomischen Aspekten. Da der Anschaffungspreis für einen Hardlaser fünf- bis zehnmal höher sei, wollte die Forschungsgruppe ermitteln, ob diese Investition sich wirklich lohne. Neben einem signifikant größeren Behandlungseffekt durch den Hardlaser stellte sich heraus, dass der High-Power-Laser (5W) im Vergleich zum Low-Level-Laser (50-150W) die Anzahl notwendiger Applikationen senkt, sodass die Zeitintervalle, in denen Patienten wegen Schmerzen zur medizinischen Einrichtung zurückkehren, zum Vorteil der Patienten größer und damit die Anzahl der Besuche geringer werden. Somit reduzieren sich ebenfalls die Arbeitsbelastung für die Angestellten und der Aufwand für die Patienten (Navratil et al. 2012).

Eine weitere Vergleichsstudie bei Patienten mit Bell'scher Parese zeigte, dass sowohl HILT als auch LLLT nach sechs Wochen fortlaufender Therapie an drei Tagen pro Woche die Genesung der Patienten verbesserte, wobei sich auch hier die Hardlasertherapie als effektiver herausstellte (Alayat et al. 2014).

Eine dritte zwischen Low- und Hardlasertherapie vergleichende Arbeit aus dem Jahr 2014 hatte Knieosteoarthritispatienten in drei Gruppen unterteilt: HILT, LILT und Placebo-Laser, jeweils zusätzlich mit physiotherapeutischen Übungen kombiniert.

Dabei zeichnete sich ab, dass sowohl der Hard- als auch der Softlaser effektive Behandlungsoptionen darstellen und eine signifikante Reduktion des Schmerzes (VAS) und der Kniefunktionsstörungen (WOMAC) im Vergleich zur Placebo-Einheit erzielt werden konnte. Auch hier ist wieder interessant, dass HILT kombiniert mit Übungen effektiver war als LILT mit Übungen (Kheshie et al. 2014).

Wir konnten in unserer Arbeit, bis auf die zuvor erwähnte HWS-Rotationserhöhung, keine relevanten Gruppenunterschiede feststellen, fanden jedoch, wie oben beschrieben, vermehrt Hinweise auf eine effektivere Wirkungsweise des High-Level-Lasers. Wir können deshalb die in den drei vergleichenden Studien erhobenen Daten dahingehend bestätigen, dass beide Therapiemittel einen Einfluss auf die Verminderung von Schmerz- und Funktionseinschränkungen haben, die High-Intensity-Laserbehandlung aber effektiver zu sein scheint.

6.5 Bewertungen hinsichtlich der therapeutischen Wirksamkeit und Limitationen der Studie

In der High-Level-Laser-Gruppe wurde eine signifikante Steigerung des körperlichen Summenscores des SF-12-Outcomes im Studienverlauf festgestellt. Dahingegen zeigte sich in der LLLT-Kohorte eine signifikante Verbesserung des psychischen Gesundheitsscores. In beiden Interventionsgruppen konnte anhand des NDI eine statistisch relevante Verminderung der nackenspezifischen Gesundheitseinschränkungen nachgewiesen werden. Beide Outcomes eignen sich unserer Ansicht nach zur Bewertung der therapeutischen Wirksamkeit. Mithilfe des SF-12 sowie des nackenspezifischen Fragebogens NDI wurde kein signifikanter Gruppenunterschied zwischen LLL- und HLL-Therapie registriert. Keines der Verfahren scheint einem anderen überlegen zu sein.

Das technische Setting und die zu applizierende Dosis sind noch immer unsicher bei der LLLT. Die klinischen Resultate scheinen abhängig zu sein von der Wellenlänge, der Dauer der Applikation, der Bestrahlungsstärke, der effektiven Bestrahlung, der Frequenz bzw. Häufigkeit der Bestrahlung oder einer Kombination aller dieser Faktoren. Aus diesem Grund fordern die Autoren dazu auf, in Folgestudien genauere Angaben zur Applikationstechnik der LLLT zu machen (Lucas et al. 2000, Brosseau et

al. 2004). Um über die oben genannten Faktoren und deren Auswirkung Klarheit zu schaffen, verglich 2012 ein Forschungsteam verschiedene Energiedosen von Low-Level-Lasertherapie bei akuten Rückenschmerzen und Radikulopathien. Dabei fanden 10 Behandlungseinheiten mit 0,1J (akkumulierte Dosis 16s und 0,4J) in der ersten, 1J (160s und 4J) in der zweiten und 4J (640s und 16J) pro Behandlungspunkt in der dritten Gruppe statt. Es stellte sich heraus, dass alle drei applizierten Dosen zu einer signifikanten Schmerzreduktion führen, wobei eine Dosis von 4J pro Punkt bezüglich der Verbesserung alltäglicher Verrichtungen (gemessen mit dem *Spine Society-Low Back Pain Outcome Instrument*) und der lumbalen Beweglichkeit effektiver als die beiden anderen Dosen zu sein scheint (Jovičić et al. 2012).

Als Limitation unserer Studie erweist sich zum einen der Stichprobenumfang von 41 Patienten. Dazu ist anzumerken, dass eine klinische Studie mit Schmerzpatienten unter Ausschluss paralleler Therapieverfahren in dem vorgesehenen Untersuchungszeitraum keine höheren Patientenzahlen ermöglicht. Die von uns erzielten Ergebnisse sollten an einer größeren Stichprobe validiert werden. Zum anderen lässt sich das Fehlen einer Kontrollgruppe diskutieren. Allerdings ist festzuhalten, dass zahlreiche Studien aus den letzten Jahren Lasertherapie (Soft- oder Hardlaser) mit Placebo-Wirkung, Ultraschall und/oder mobilisierenden Übungen verglichen haben und durchgängig eine Überlegenheit der Lasertherapie gegenüber der jeweiligen Therapieform festgestellt werden konnte. Deshalb wurde der Studienaufbau unserer Arbeit darauf gründend so gewählt, dass ein Vergleich der Laserintensitäten (Milliwatt- vs. Wattbereich) stattfinden sollte, um mögliche Vor- und Nachteile der beiden Laserapplikationsformen aufzudecken. Außerdem galt es zu evaluieren, ob Laserbehandlungen bei einer chronischen Patientenklientel überhaupt sinnvoll sind, da viele Studien zuvor lediglich Auswirkungen auf eine akute Schmerzreduktion untersuchten. Aus ethischen Gründen ist es zudem nicht vertretbar, einem Patienten keine Behandlung zukommen zu lassen. Nicht außer Betracht sollte man die Möglichkeit lassen, dass sich der Zustand einiger Patienten einzig aufgrund der fortschreitenden Zeit und der Vermeidung von anstrengenden Tätigkeiten während der Behandlungsperiode verbessert haben könnte. Jedoch wurden die Patienten unterwiesen, ihren alltäglichen Verrichtungen nachzugehen und sich nicht anders zu verhalten als normal. Das Studienprotokoll von fünf Therapiesitzungen an fünf aufeinanderfolgenden Arbeitstagen könnte im klinischen Alltag eine Herausforderung

darstellen, weil einige Patienten eine weite Anreise zur medizinischen Versorgungsstätte haben bzw. die Klinik nicht immer ausreichende Kapazitäten für eine solche umfangreiche Behandlung besitzt. In folgenden Studien sollte geprüft werden, ob eine Kombination von Laser mit anderen Therapieformen für die Verbesserung des Behandlungserfolgs sinnvoll ist.

7 SCHLUSSFOLGERUNG

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Therapie mit High-Level-Laserstrahlen im Vergleich zur Low-Intensity-Laserbehandlung durchaus vermehrt Hinweise liefert, dass die somatische Funktion verbessert werden kann. Dazu gehören eine signifikante Verlaufsreduktion der oberen gekreuzten Syndrome, eine Erhöhung der HWS-Beweglichkeit (ROM), eine Verminderung hypertoner Muskelzustände der Nackenmuskulatur sowie angrenzender Strukturen, nachgewiesen durch manualmedizinische Palpation und durch das *Tissue Tensiometer* (TTM), sowie die Verbesserung der subjektiv eingeschätzten körperlichen Gesundheit, gemessen anhand des SF-12. Die Beweglichkeit der Halswirbelsäule (ROM) blieb bis vier Wochen nach Behandlung signifikant höher als das Ausgangsniveau, das Gleiche trifft für die VAS sowie die Outcomes SF-12 KS (generisch) und NDI (nackenspezifisch) zu. Allerdings konnte im direkten Gruppenvergleich nie eine Überlegenheit der HLLT gefunden werden. Fraglich ist, ob eine Monotherapie mit Hardlaser ausreichend ist oder ob sie doch in Kombination mit anderen konservativen Maßnahmen zusammen durchgeführt werden sollte, um eine effiziente Schmerzverminderung und eine bessere Bewegungsfunktion des Nackenbereiches auch auf längere Sicht hin zu gewährleisten. HILT zeigt einen Kurzzeiteffekt auf die genannten Parameter bis vier Wochen nach Therapie. Über diese Zeitspanne hinaus kann mithilfe unseres Studiendesigns keine Aussage über mögliche Langzeiteffekte (länger als drei bzw. 12 Monate) getroffen werden.

Hinsichtlich der Softlasertherapie häufen sich die Hinweise, dass vor allem ein psychologischer Effekt, bezogen auf die verminderte Schmerzwahrnehmung, eine Rolle spielt. Dafür spricht der signifikante Verlauf der psychischen Komponentenskala des SF-12 bei gleichzeitigem Fehlen eines Beweises der Verbesserung des körperlichen Gesundheitsscores und fehlendem Nachweis einer objektivierten Abnahme der Gewebespannung mittels TTM. Die Effektivität der LLLT ist aus unserer Sicht anzuzweifeln und scheint vor allem auf einem psychischen Effekt zu beruhen. Neuere Studien aus dem Jahr 2013 beurteilen die Wirksamkeit der Softlasertherapie ebenfalls als fragwürdig. Das technische Setting und die zu applizierende Dosis scheinen noch immer Unsicherheitsfaktoren bei der Lasertherapie darzustellen.

8 LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

- Aarrestad DD, Williams MD, Fehrer SC, Mikhailenok E, Leonard CT. 2004. Intra-and interrater reliabilities of the myotonometer when assessing the spastic condition of children with cerebral palsy. *Journal of child neurology*, 19 (11):894-901.
- Ackelman BH, Lindgren U. 2002. Validity and reliability of a modified version of the neck disability index. *Journal of rehabilitation medicine*, 34 (6):284-287.
- Aker PD, Gross AR, Goldsmith CH, Peloso P. 1996. Conservative management of mechanical neck pain: systematic overview and meta-analysis. *BMJ*, 313 (7068):1291-1296.
- Alayat MSM, Elsodany AM, El Fiky AAR. 2014. Efficacy of high and low level laser therapy in the treatment of Bell's palsy: A randomized double blind placebo-controlled trial. *Lasers in medical science*, 29 (1):335-342.
- Alayat MSM, Atya AM, Ali MME, Shosha TM. 2013. Long-term effect of high-intensity laser therapy in the treatment of patients with chronic low back pain: a randomized blinded placebo-controlled trial. *Lasers in medical science*:1-9.
- Anderson BC, Isaac Z, Devine J. 2010. Treatment of neck pain [Online Publikation]. UpToDate 2009.
- Ariëns GA, van Mechelen W, Bongers PM, Bouter LM, van der Wal G. 2001. Psychosocial risk factors for neck pain: a systematic review. *American journal of industrial medicine*, 39 (2):180-193.
- Arokoski JP, Surakka J, Ojala T, Kolari P, Jurvelin JS. 2005. Feasibility of the use of a novel soft tissue stiffness meter. *Physiol Meas*, 26:215-228.
- Ay S, Doğan ŞK, Evcik D. 2010. Is low-level laser therapy effective in acute or chronic low back pain? *Clinical rheumatology*, 29 (8):905-910.
- Barmer GEK Arztreport I, Grobe, T.G., Bitzer, E.M., Schwartz, F.W. 2013. Barmer GEK Arztreport 2013. 12.03.2013. <http://presse.barmer-gek.de/barmer/web/Portale/Presseportal/Subportal/Presseinformationen/Archiv/2013/130129-Arztreport-2013/PDF-Arztreport-2013,property=Data.pdf>.
- Beckerman H, de Bie RA, Bouter LM, De Cuyper HJ, Oostendorp RA. 1992. The efficacy of laser therapy for musculoskeletal and skin disorders: a criteria-based meta-analysis of randomized clinical trials. *Phys Ther*, 72 (7):483-491.

- Best N, Derlien S, Smolenski U. 2010. Die Behandlung von Patienten mit muskuloskelettalen Beschwerden mittels Leistungslaser. Eine Anwendungsbeobachtung an 120 Patienten. *Phys Med*, 10:0030-1262857.
- Bijur PE, Silver W, Gallagher EJ. 2001. Reliability of the visual analog scale for measurement of acute pain. *Acad Emerg Med*, 8 (12):1153-1157.
- Bijur PE, Latimer CT, Gallagher EJ. 2003. Validation of a verbally administered numerical rating scale of acute pain for use in the emergency department. *Academic emergency medicine*, 10 (4):390-392.
- Binder AI. 2008. Neck pain. *Clin Evid (Online)*, 2008.
- Bjordal J, Lopes-Martins R, Iversen V. 2006. A randomised, placebo controlled trial of low level laser therapy for activated Achilles tendinitis with microdialysis measurement of peritendinous prostaglandin E2 concentrations. *British journal of sports medicine*, 40 (1):76-80.
- Bocker R. 2011. Funktionelle Diagnostik der Craniomandibulären Dysfunktion aus manualmedizinischer Sicht. Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
- Brosseau L, Welch V, Wells G, DeBie R, Gam A, Harman K, Morin M, Shea B, Tugwell P. 2004. Low level laser therapy (Classes I, II and III) for treating osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev*, (3):CD002046.
- Buchalter D, Parniapour M, Viola K, Nordin M, Kahanowitz N. 1989. Three dimensional spinal motion measurements Part 1: A technique for examining posture and functional spinal motion. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, 1:279-283.
- Buchmann J, Blümel G, Beyer L. 2007. Objektivierbare apparative Messung der Gewebespannung mittels Tissue Tensiometer (TTM). *Manuelle Medizin*, 45 (3):191-194.
- Bullinger M, Kirchberger I, Ware J. 1995. Der deutsche SF-36 Health Survey Übersetzung und psychometrische Testung eines krankheitsübergreifenden Instruments zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. *Journal of Public Health*, 3 (1):21-36.
- Chow RT, Johnson MI, Lopes-Martins RA, Bjordal JM. 2009. Efficacy of low-level laser therapy in the management of neck pain: a systematic review and meta-analysis of randomised placebo or active-treatment controlled trials. *Lancet*, 374 (9705):1897-1908.

- Conradi S, Smolenski U, Bak P, Biskupek H, Frey M, Galeazzi A, Klaas T, Kluge K, Müller K, Nagel J. 2003. Reliabilität der manualmedizinischen Tests bei Low Back Pain (LBP) Patienten. *Manuelle Medizin*, 41 (4):272-278.
- Cote P, Cassidy JD, Carroll L. 1998. The Saskatchewan Health and Back Pain Survey. The prevalence of neck pain and related disability in Saskatchewan adults. *Spine (Phila Pa 1976)*, 23 (15):1689-1698.
- de Bie RA, Verhagen AP, Lenssen AF, de Vet HC, van den Wildenberg FA, Kootstra G, Knipschild PG. 1998. Efficacy of 904 nm laser therapy in the management of musculoskeletal disorders: a systematic review. *Physical Therapy Reviews*, 3:59-72.
- de Moraes Maia ML, Ribeiro MAG, Maia LGM, Stuginski-Barbosa J, Costa YM, Porporatti AL, Conti PCR, Bonjardim LR. 2012. Evaluation of low-level laser therapy effectiveness on the pain and masticatory performance of patients with myofascial pain. *Lasers in medical science*:1-7.
- DEGAM. 2009. DEGAM-Leitlinie Nr. 13: Nackenschmerzen. Düsseldorf: Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin (DEGAM).
- Derlien S. 2009. Untersuchungen zu manualmedizinischen Befunden des Krankheitsbildes "Low Back Pain": Jena, Univ., Diss., 2009.
- Dundar U, Evcik D, Samli F, Pusak H, Kavuncu V. 2007. The effect of gallium arsenide aluminum laser therapy in the management of cervical myofascial pain syndrome: a double blind, placebo-controlled study. *Clin Rheumatol*, 26 (6):930-934.
- Fachgesellschaften AdWM. 2010. Nationale VersorgungsLeitlinie Kreuzschmerz, 30 November.
- Fejer R, Kyvik KO, Hartvigsen J. 2006. The prevalence of neck pain in the world population: a systematic critical review of the literature. *Eur Spine J*, 15 (6):834-848.
- Fiore P, Panza F, Cassatella G, Russo A, Frisardi V, Solfrizzi V, Ranieri M, Di Teo L, Santamato A. 2011. Short-term effects of high-intensity laser therapy versus ultrasound therapy in the treatment of low back pain: a randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med*, 47 (3):367-373.
- Fischer N. 2009. Untersuchungen zu Veränderungen vegetativer Parameter am Knie-und Schultergelenk nach Laserapplikation: Jena, Univ., Diss., 2009.

- Flemming K, Cullum N. 2000. Laser therapy for venous leg ulcers. Cochrane Database Syst Rev, (2):CD001182.
- Freydank U. 2011. Funktioneller Kopfschmerz. Therapeutische Möglichkeiten zur Schmerzreduktion und Schmerzbeseitigung. Physiotherapie med, 4:14.
- Füchtenbusch A, Bringmann W. 2010. Lasertherapie und Laserpunktur - Behandlungsprogramme. 2. Aufl.
- Fukuda TY, Tanji MM, Silva SR, Sato MN, Plapler H. 2013. Infrared low-level diode laser on inflammatory process modulation in mice: pro- and anti-inflammatory cytokines. Lasers Med Sci, 28 (5):1305-1313.
- Gerbershagen H, Korb J, Nagel B Das Mainzer Stadiensystem der Schmerzchronifizierung Mainz Pain Staging System (MPSS) <http://www.drk-schmerz-zentrum.de.drktg.de/mz/pdf/downloads/stadieneinteilung.pdf>.
- Gross AR, Goldsmith C, Hoving JL, Haines T, Peloso P, Aker P, Santaguida P, Myers C. 2007. Conservative management of mechanical neck disorders: a systematic review. J Rheumatol, 34 (5):1083-1102.
- Gross AR, Dziengo S, Boers O, Goldsmith CH, Graham N, Lilge L, Burnie S, White R. 2013. Suppl 4: Low Level Laser Therapy (LLLT) for Neck Pain: A Systematic Review and Meta-Regression. The open orthopaedics journal, 7:396.
- Guerra FDR, Vieira CP, Almeida MS, Oliveira LP, de Aro AA, Pimentel ER. 2013. LLLT improves tendon healing through increase of MMP activity and collagen synthesis. Lasers in medical science, 28 (5):1281-1288.
- Gutmann G. 1988. Der vertebrale Kopfschmerz. Ein Überblick zur Pathogenese, Diagnostik und Therapie. Kopfschmerzen:64-74.
- Hagberg M, Wegman DH. 1987. Prevalence rates and odds ratios of shoulder-neck diseases in different occupational groups. Br J Ind Med, 44 (9):602-610.
- Hakguder A, Birtane M, Gurcan S, Kokino S, Turan FN. 2003. Efficacy of low level laser therapy in myofascial pain syndrome: an algometric and thermographic evaluation. Lasers Surg Med, 33 (5):339-343.
- Harke G. 2009. Manuelle Medizin. Funktionelle Schmerztherapie des Bewegungssystems. Springer.
- Hätscher A, Dähne B, Rothe S, Richter S, Callies R. 1989. Geschlechts- und altersabhängige Bewegungsmaße bei Gesunden im Hinblick einer Beurteilung von Patienten mit Spondylitis ankylosans-1. Mitteilung: Finger-

- Boden-Abstand und Schobersches Maß. Zeitschrift für Physiotherapie, 41 (03):197-200.
- Hegedűs B, Viharos L, Gervain M, Gálfi M. 2009. The effect of low-level laser in knee osteoarthritis: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. Photomedicine and laser surgery, 27 (4):577-584.
- Heller CA, Stanley P, Lewis-Jones B, Heller RF. 1983. Value of x ray examinations of the cervicospine. Br Med J, 287:1276-1278.
- Hering P, Schwarzmaier H. 1998. Einführung in die Lasermedizin. Institut für Lasermedizin Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.
- Huskisson EC. 1974. Measurement of pain. Lancet, 2 (7889):1127-1131.
- Isaac Z, Anderson BC. 2010. Evaluation of the patient with neck pain and cervical spine disorders [Online-Publikation]. UpToDate 2009.
- Janda V. 2000. Manuelle Muskelfunktionsdiagnostik. Elsevier, Urban&FischerVerlag.
- Jensen K. 1990. Quantification of tenderness by palpation and use of pressure algometers. Adv Pain Res Ther, 17:165-181.
- Jovičić M, Konstantinović L, Lazović M, Jovičić V. 2012. Clinical and functional evaluation of patients with acute low back pain and radiculopathy treated with different energy doses of low level laser therapy. Vojnosanitetski Pregled: Military Medical & Pharmaceutical Journal of Serbia & Montenegro, 69 (8).
- Kheshie AR, Alayat MSM, Ali MME. 2014. High-intensity versus low-level laser therapy in the treatment of patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. Lasers in Medical Science:1-6.
- Kinser AM, Sands WA, Stone MH. 2009. Reliability and validity of a pressure algometer. J Strength Cond Res, 23 (1):312-314.
- Korhonen R, Vain A, Vanninen E, Viir R, Jurvelin J. 2005. Can mechanical myotonometry or electromyography be used for the prediction of intramuscular pressure? Physiological Measurement, 26 (6):951.
- Kvarnstrom S. 1983. Occurrence of musculoskeletal disorders in a manufacturing industry with special attention to occupational shoulder disorders. Scand J Rehabil Med Suppl, 8:1-114.
- Lautenschläger J, Bruckle W, Schnorrenberger CC, Muller W. 1988. [Measuring pressure pain of tendons and muscles in healthy probands and patients with generalized tendomyopathy (fibromyalgia syndrome)]. Z Rheumatol, 47 (6):397-404.

- Leaver AM, Refshauge KM, Maher CG, McAuley JH. 2010. Conservative interventions provide short-term relief for non-specific neck pain: a systematic review. *J Physiother*, 56 (2):73-85.
- Leonard CT, Brown JS, Price TR, Queen SA, Mikhailenok EL. 2004. Comparison of surface electromyography and myotonometric measurements during voluntary isometric contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14:709-714.
- Leonard CT, Deshner WP, Romo JW, Suoja ES, Fehrer SC, Mikhailenok EL. 2003. Myotonometer intra- and interrater Reliabilities. *Arch Phys Med Rehabil*, 84:928-932.
- Licht G, Müller-Ehrenberg H, Mathis J, Berg G, Greitemann G. 2007. Untersuchung myofaszieller Triggerpunkte ist zuverlässig. *Manuelle Medizin*, 45 (6):402-408.
- Locher H-A, Casser H-R, Strohmeier M, Grifka J. 2010. Spezielle Schmerztherapie der Halte-und Bewegungsorgane. Georg Thieme Verlag.
- Lucas C, Stanborough R, Freeman C, De Haan R. 2000. Efficacy of low-level laser therapy on wound healing in human subjects: a systematic review. *Lasers in Medical Science*, 15 (2):84-93.
- Makela M, Heliovaara M, Sievers K, Impivaara O, Knekt P, Aromaa A. 1991. Prevalence, determinants, and consequences of chronic neck pain in Finland. *Am J Epidemiol*, 134 (11):1356-1367.
- Manca A, Limonta E, Pilurzi G, Ginatempo F, De Natale E, Mercante B, Tolu E, Deriu F. 2013. Ultrasound and Laser as Stand-Alone Therapies for Myofascial Trigger Points: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *Physiotherapy Research International*.
- Mense SS. 2004. Funktionelle Neuroanatomie und Schmerzreize. *Der Schmerz*, 18 (3):225-237.
- Murayama M, Nosaka K, Yoneda T, Minamitani K. 2000. Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise. *European journal of applied physiology*, 82 (5-6):361-367.
- Mutschler E, Schaible HG, Vaupel P. 2007. Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. 6. Aufl. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.
- Navratil V, Hajkova S, Koci P, Vranova J, Navratil L. 2012. The benefits of high performance laser beams in the treatment of musculoskeletal issues *Lasers in medical science*, 27:1107-1142.

- Neuhuber W. 2005. M. longissimus als Vermittler zwischen kraniozervikalem Übergang und Becken: Eine Hypothese. *Manuelle Medizin*, 43 (6):395-399.
- Neuhuber W. 2007. Anatomie und funktionelle Neuroanatomie der oberen Halswirbelsäule. *Manuelle Medizin*, 45 (4):227-231.
- Özdemir F, Birtane M, Kokino S. 2001. The clinical efficacy of low-power laser therapy on pain and function in cervical osteoarthritis. *Clinical Rheumatology*, 20 (3):181-184.
- Panel P. 2001. Philadelphia Panel evidence-based clinical practice guidelines on selected rehabilitation interventions for neck pain. *Phys Ther*, 81 (10):1701-1717.
- Park G, Kim CW, Park SB, Kim MJ, Jang SH. 2011. Reliability and Usefulness of the Pressure Pain Threshold Measurement in Patients with Myofascial Pain. *Annals of rehabilitation medicine*, 35 (3):412-417.
- Patijn J, Ellis R. 2001. Low back pain: reproducibility of diagnostic procedures in manual/musculoskeletal medicine. *Journal of Orthopaedic Medicine*, 23 (1):36-42.
- Pfingsten M, Schöps, P., Wille, Th., Terp, L., Hildebrandt, J. 2000. Chronifizierungsmaß von Schmerzerkrankungen – Quantifizierung und Graduierung anhand des Mainzer Stadienmodells. *Schmerz*, 14 (1):10-17.
- Pietrobon R, Coeytaux RR, Carey TS, Richardson WJ, DeVellis RF. 2002. Standard scales for measurement of functional outcome for cervical pain or dysfunction: a systematic review. *Spine (Phila Pa 1976)*, 27 (5):515-522.
- Radoschewski M, Bellach B. 1999. Der SF-36 im Bundesgesundheitsurvey- Möglichkeiten und Anforderungen der Nutzung auf der Bevölkerungsebene. *Gesundheitswesen*, 61 (2):191.
- Reiss M, Reiss G. 2000. Zur Untersuchung der motorischen Asymmetrien. *Fortschritte der Neurologie· Psychiatrie*, 68 (02):70-79.
- Sachse J, Schildt-Rudloff K. 2000. Wirbelsäule: manuelle Untersuchung und Mobilisationsbehandlung. 4. Aufl.: Elsevier, Urban&FischerVerlag.
- Santamato A, Solfrizzi V, Panza F, Tondi G, Frisardi V, Leggin BG, Ranieri M, Fiore P. 2009. Short-term effects of high-intensity laser therapy versus ultrasound therapy in the treatment of people with subacromial impingement syndrome: a randomized clinical trial. *Phys Ther*, 89 (7):643-652.

- Sax W. 2009. Grundlagen der physiotherapeutischen Befundung und Behandlung. Skript Masterlehrgang, Physiotherapie, FH-Campus Wien.
- Schober Pv. 1937. Lendenwirbelsäule und Kreuzschmerzen. Munch Med Wochenschr, 84:336-338.
- Schumacher J, Brahler E. 1999. [The prevalence of pain in the German population: results of population-based studies with the Giessen Subjective Complaints List (Giessener Beschwerdebogen GBB)]. Schmerz, 13 (6):375-384.
- Senn E. 1995. Physikalische Therapie. Therapie innerer Krankheiten. Springer, 1441.
- Simon A. 2004. Low level laser therapy for wound healing: an update. Alberta Heritage Foundation for Medical Research Edmonton, Canada.
- Simpson MMR. 2006. Benign joint hypermobility syndrome: evaluation, diagnosis, and management. JAOA: Journal of the American Osteopathic Association, 106 (9):531-536.
- Štiglic-Rogoznica N, Stamenković D, Frlan-Vrgoč L, Avancini-Dobrović V, Schnurrer-Luke Vrbanić T. 2011. Analgesic effect of high intensity laser therapy in knee osteoarthritis. Collegium Antropologicum, 35 (2):183-185.
- Tilscher H. 2007. Die Kopfgelenke und ihre besondere Bedeutung beim Kopfschmerz. Manuelle Medizin, 45 (4):242-246.
- Tittel K. 2003. Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen. 14. Aufl. München, Jena: Urban&Fischer.
- Travell JG, Simons DG. 2002. Handbuch der Muskeltriggerpunkte. Jena: Urban&Fischer München.
- Tsai W-C, Hsu C-C, Pang J-HS, Lin M-S, Chen Y-H, Liang F-C. 2012. Low-level laser irradiation stimulates tenocyte migration with up-regulation of dynamin II expression. PloS one, 7 (5):e38235.
- Vernon H, Mior S. 1991. The Neck Disability Index: a study of reliability and validity. J Manipulative Physiol Ther, 14 (7):409-415.
- Wheeler AH, Goolkasian P, Baird AC, Darden BV. 1999. Development of the Neck Pain and Disability Scale: item analysis, face, and criterion-related validity. Spine, 24 (13):1290.
- Winkelmann C, Schreiber T. 1997. Die Visuelle Analogskala (VAS) zur "Schmerzmessung" in der Physiotherapie. Krankengymnastik, 49:1856-1866.

- Yavuz F, Duman I, Taskaynatan MA, Tan AK. 2013. Low-level laser therapy versus ultrasound therapy in the treatment of subacromial impingement syndrome: A randomized clinical trial. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*.
- Ylinen J, Teittinen I, Kainulainen V, Kautiainen H, Vehmaskoski K, Häkkinen A. 2006. Repeatability of a computerized muscle tonometer and the effect of tissue thickness on the estimation of muscle tone *Physiol Meas*, 27:787-796.
- Zimmer 21.03.2013. Zimmer Medizinsysteme OptonPro- Überblick <http://www.zimmer-opton.de/optonpro/ueberblick.html>.
- Zschiegner A-M. 2013. Tissue Tensiometer und Spineliner: Untersuchung der Objektivität und Reliabilität am Model: Jena, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Diss., 2013.

9 ANHANG

Monika Bullinger und Inge Kirchberger

Fragebogen zum Allgemeinen Gesundheitszustand SF 12

Selbstbeurteilungsbogen

Zeitfenster 4 Wochen

In diesem Fragebogen geht es um Ihre Beurteilung Ihres Gesundheitszustandes. Der Bogen ermöglicht es, im Zeitverlauf nachzuvollziehen, wie Sie sich fühlen und wie Sie im Alltag zurechtkommen. Bitte beantworten Sie jede der (grau unterlegten) Fragen, indem Sie bei den Antwortmöglichkeiten die Zahl ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft.

	Ausgezeichnet	Sehr gut	Gut	Weniger gut	Schlecht
1. Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben	1	2	3	4	5

Im Folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben.			
<i>Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark?</i>	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
2. mittelschwere Tätigkeiten , z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	1	2	3
3. mehrere Treppenabsätze steigen	1	2	3

Hatten Sie <i>in den vergangenen 4 Wochen auf Grund Ihrer körperlichen Gesundheit</i> irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?	Ja	Nein
4. Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
5. Ich konnte nur bestimmte Dinge tun	1	2

Hatten Sie <i>in den vergangenen 4 Wochen auf Grund seelischer Probleme</i> irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?	Ja	Nein
6. Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
7. Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten	1	2

	Überhaupt nicht	Ein bißchen	Mäßig	Ziemlich	Sehr
8. Inwieweit haben die Schmerzen Sie <i>in den vergangenen 4 Wochen</i> bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert?	1	2	3	4	5

In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen <i>in den vergangenen 4 Wochen</i> gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die seinem/ihrer Befinden am ehesten entspricht).	Immer	Meistens	Ziemlich oft	Manch- mal	Selten	Nie
Wie oft waren Sie <i>in den vergangenen 4 Wochen</i>						
9. ... ruhig und gelassen?	1	2	3	4	5	6
10. ... voller Energie?	1	2	3	4	5	6
11. ... entmutigt und traurig?	1	2	3	4	5	6

	Immer	Meistens	Manch- mal	Selten	Nie
12. Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelische Probleme in den <i>vergangenen 4 Wochen</i> Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandten usw. beeinträchtigt?	1	2	3	4	5

Vielen Dank.



Universitätsklinikum Jena
Medizinische Fakultät
Institut für Physiotherapie
Direktor: Prof. Dr. med. U. Smolenski
Erlanger Allee 101
07740 Jena
Tel.: 03641/9-32 52 01
Fax: 03641/9-32 52 02



seit 1558

Neck Disability Index

Datum: _____

Untersucher: _____

Dieser Fragebogen dient uns zum Verständnis darüber, wie sehr Schmerzen, ausgehend von der HWS, Ihren Alltag bestimmen. Bitte beantworten Sie jeden Abschnitt durch Ankreuzen der Antwort, die am ehesten auf Sie zutrifft. Bitte kreuzen Sie nur ein Feld an, auch wenn mehrere Aussagen zutreffen könnten.

Neck Pain Disability Index (NPDI)

Abschnitt 1 – Schmerzintensität

- A. Ich habe im Augenblick keine Schmerzen ☐
- B. Der Schmerz ist im Augenblick gering ☐
- C. Die Schmerzintensität ist mäßig, der Schmerz kommt und geht ☐
- D. Der Schmerz ist mäßig und gleichbleibend ☐
- E. Der Schmerz ist schwer, aber er kommt und geht ☐
- F. Der Schmerz ist schwer und gleich bleibend ☐

Abschnitt 2 – Persönliche Verrichtungen (Waschen, Ankleiden usw.)

- A. Ich kann mich selbst versorgen ohne dass dies zusätzlichen Schmerz verursacht ☐
- B. Ich kann mich gewöhnlich selbst versorgen, aber es verursacht zusätzliche Schmerzen ☐
- C. Es ist schmerzhaft mich selbst zu versorgen, ich bin dabei langsam und vorsichtig ☐
- D. Ich brauche etwas Hilfe, aber ich versorge mich größtenteils selbst ☐
- E. Ich benötige täglich Hilfe bei meinen persönlichen Verrichtungen ☐
- F. Ich ziehe mich nicht an, wasche mich mit Schwierigkeiten und bleibe im Bett ☐

Abschnitt 3 – Aufheben

- A. Ich kann schwere Lasten ohne zusätzlichen Schmerz aufheben ☐
- B. Ich kann schwere Lasten aufheben, aber es verursacht zusätzlichen Schmerz ☐
- C. Der Schmerz hindert mich daran schwere Lasten vom Boden aufzuheben, ich kann diese aber tragen, wenn sie günstig abgestellt sind, zum Beispiel auf einem Tisch ☐
- D. Der Schmerz hindert mich daran schwere Lasten aufzuheben, ich kann aber leichte bis mittelschwere Lasten bewältigen, wenn sie günstig abgestellt sind ☐
- E. Ich kann sehr leichte Lasten aufheben ☐
- F. Ich kann keine Lasten aufheben oder tragen ☐

Abschnitt 4 – Lesen

- A. Ich kann lesen soviel ich will, ich habe dabei keine Schmerzen ☐
- B. Ich kann lesen soviel ich möchte, habe aber einen leichten Schmerz im Halsbereich ☐
- C. Ich kann lesen soviel ich möchte, die Schmerzen am Hals dabei sind mäßig ☐
- D. Ich kann nicht lesen soviel ich möchte, da ich dabei einen mäßigen Schmerz verspüre ☐
- E. Ich kann nicht lesen soviel ich möchte, da ich dabei einen starken Schmerz verspüre ☐
- F. Ich kann überhaupt nicht lesen ☐

Abschnitt 5 – Kopfschmerzen

- A. Ich habe überhaupt keine Kopfschmerzen ☐
- B. Ich habe leichte Kopfschmerzen, die gelegentlich auftreten ☐
- C. Ich habe mäßige Kopfschmerzen, die gelegentlich auftreten ☐
- D. Ich habe mäßige Kopfschmerzen, die häufig auftreten ☐
- E. Ich habe schwere Kopfschmerzen, die häufig auftreten ☐
- F. Ich habe fast permanent Kopfschmerzen ☐

Abschnitt 6 - Konzentration

- A. Ich kann mich ohne Schwierigkeiten gut konzentrieren ☐
- B. Ich kann mich gut konzentrieren, muss mich aber dabei etwas anstrengen ☐
- C. Ich kann mich konzentrieren, muss mich aber dabei ziemlich anstrengen ☐
- D. Ich habe leichte Probleme mich zu konzentrieren ☐
- E. Ich habe große Probleme mich zu konzentrieren ☐
- F. Ich kann mich überhaupt nicht konzentrieren ☐

Abschnitt 7 - Arbeit

- A. Ich kann arbeiten so viel ich will ☐
- B. Ich kann meine gewohnte Arbeit ausführen, aber darüber hinaus nichts mehr ☐
- C. Ich kann das meiste meiner gewohnten Arbeit ausführen, aber darüber hinaus nichts mehr ☐
- D. Ich kann meine gewohnte Arbeit nicht machen ☐
- E. Ich kann kaum irgendeine Arbeit tun ☐
- F. Ich kann keine Arbeit verrichten ☐

Abschnitt 8 – Fahren

- A. Ich kann mein Auto ohne Schmerzen im HWS-Bereich fahren ☐
- B. Ich kann mein Auto fahren so lange ich will, aber mit leichtem Schmerz ☐
- C. Ich kann mein Auto fahren so lange ich will, aber mit mäßigem Schmerz ☐
- D. Wegen der mäßigen Schmerzen kann ich mein Auto nicht so lange fahren wie ich möchte ☐
- E. Ich kann kaum mein Auto fahren, da ich starke Schmerzen habe ☐
- F. Ich kann mein Auto überhaupt nicht fahren ☐

Abschnitt 9 – Schlaf

- A. Ich habe keine Schlafstörungen ☐
- B. Mein Schlaf ist etwas gestört (weniger als 1 Stunde schlaflos) ☐
- C. Mein Schlaf ist leicht gestört (1-2 Stunden schlaflos) ☐
- D. Mein Schlaf ist mäßig gestört (2-3 Stunden schlaflos) ☐
- E. Mein Schlaf ist ziemlich gestört 3-5 Stunden schlaflos) ☐
- F. Mein Schlaf ist komplett gestört (5-7 Stunden schlaflos) ☐

Abschnitt 10 – Freizeitaktivitäten/Hobbys

- A. Ich kann allen meinen Hobbys nachgehen, ohne dass ich dabei Schmerzen habe ☐
- B. Ich kann allen meinen Hobbys nachgehen, habe aber etwas Schmerzen dabei ☐
- C. Ich kann den meisten meiner Hobbys nachgehen, aber nicht allen, da ich Schmerzen dabei habe ☐
- D. Ich kann nur noch einigen meiner Hobbys nachgehen, da ich Schmerzen dabei habe ☐
- E. Ich kann kaum noch meinen Hobbys nachgehen, da ich Schmerzen dabei habe ☐
- F. Ich kann keiner meiner Hobbys nachgehen ☐

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Prof. Dr. med. Ulrich Smolenski und Dr. med. Barbara Bocker (Institut für Physiotherapie),

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, 20. Mai 2014

Laura Bocker

DANKSAGUNG

Wahrscheinlich weiß jeder, der eine solche Arbeit bereits angefertigt hat, dass es kaum möglich ist, diese ohne die Ermutigung und die Unterstützung von einigen nennenswerten Personen niederzuschreiben.

Zuallererst möchte ich an dieser Stelle Frau Dr. Barbara Bocker für ihre selbstlose Hilfe danken. Ohne sie und ihr unermüdliches Engagement, neben der eigenen Sprechstunde noch meine Studienpatienten einzuschließen, wäre die Rekrutierung der Patienten noch heute nicht abgeschlossen. Auch für ihre stärkenden Rückhalt und ihre schnelle Antwort auf Fragen danke ich ihr von ganzem Herzen.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Prof. Dr. med. Smolenski für die Überlassung des Promotionsthemas und somit für das Ermöglichen dieser Arbeit. Trotz seines immer straffen Zeitplans fand er gerade in der Endphase immer einige Minuten oder Stunden für die fachliche, wie auch motivierende Betreuung beim Verfassen dieser wissenschaftlichen Abhandlung.

Frau Helga Scharf danke ich für die akribische, professionelle Durchsicht der Arbeit unter germanistischen Gesichtspunkten,

meinem Mann für die Ablenkung von der Arbeit im richtigen Moment, um wieder klare Gedanken sammeln zu können

und nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern einen Dank für ihr Interesse und ihre Geduld beim Durchlesen einer, für sie, fachbegriffsreichen Literatur aussprechen.